MANUALUL INGINERULUI ELECTRICIAN

IV

EDITURA TEHNICĂ

L
ULUI
IAN

243
Sorenius Dorina

MANUALUL INGINERULUI ELECTRICIAN

IV

APARATE ELECTRICE

EDITURA TEHNICĂ
BUCUREŞTI, 1956

COLECTIVUL DE ELABORARE

SECŢIUNEA V – APARATE ELECTRICE
Sub redacţia:
PROF. DR. ING. A. AVRAMESCU
membru corespondent al Academiei R.P.R.

I. ELEMENTE DE CIRCUIT

CONF. ING. VLAD RĂDULESCU (subcapitol A)
PROF. DR. ING. A. AVRAMESCU, membru corespondent al Academiei R.P.R. (subcapitol B)
PROF. DR. ING. GH. PETRESCU şi ING. IG. GREIF (subcapitol C)
ING. PAUL CARTIANU (subcapitol D)

II. APARATE DE PORNIRE ŞI REGLAJ PENTRU MAŞINI ROTATIVE

ING. AURELIAN PÎRLEA

III. APARATE DE CONECTARE

PROF. DR. ING. A. AVRAMESCU, membru corespondent al Academiei R.P.R. (subcapitol A–D, O–R)
PROF. ING. CAROL STEINBERG,
LECTOR ING. GH. COSMIN şi ING. AUREL POPA (subcapitol E–N)
ING. BORIS STOLERU (subcapitol R)

IV. APARATE DE PROTECŢIE A INSTALAŢIILOR ELECTRICE

CONF. ING. CORNELIU PENESCU (subcapitol A)
PROF. DR. ING. A. AVRAMESCU, membru corespondent al Academiei R.P.R. (subcapitol B)

V. ELEMENTELE ELECTRICE ALE INSTALAŢIILOR AUTOMATE ŞI TELEMECANICE

ING. I. PAPADACHE

*

COORDONARE

ING. PAUL BUNESCU şi ING. PAUL CARTIANU

TABLA DE MATERII

I. Elemente de circuit

1. Generalităţi 1

A. Rezistenţe electrice 1

a) *Proprietăţi generale* 1

2. Definiţii şi caracteristici (1). 3. Rezistenţa electrică, ca element de circuit (1).

b) *Efectele prezenţei rezistenţei electrice (rezistoarelor) într-un circuit* 2

4. Căderea de tensiune (2). 5. Pierderea de energie şi de putere (4).

c) *Variaţia rezistivităţii şi a rezistenţei electrice în funcţie de diferite mărimi* .. 4

6. Variaţia rezistivităţii şi a rezistenţei în cazul conductorilor solizi (4). 7. Variaţia rezistivităţii şi a rezistenţei în cazul unor anumiţi conductori (10).

d) *Construcţia şi utilizările rezistoarelor* 12

8. Materiale pentru rezistoare şi forme de realizare (12). 9. Mărimi uzuale ale rezistenţelor diferitelor rezistoare (14). 10. Exemple numerice de rezistenţe electrice (14).

B. Bobine de reactanţă 15

11. Generalităţi (15). 12. Necesitatea limitării curenţilor de scurtcircuit (15). 13. Efectele reactanţelor în circuite (16). 14. Dimensionarea bobinelor de reactanţă (17). 15. Forţele mecanice (17).16. Calculul bobinelor de reactanţă (18). 17. Construcţia bobinelor de reactanţă (20). 18. Derivaţii de supratensiune pentru bobine de reactanţă (22). 19. Ventilaţia bobinelor de reactanţă (23). 20. Utilizarea bobinelor de reactanţă în staţii (23).

C. Condensatoare

a) *Generalităţi* 24

21. Capacitate (24). 22. Energia condensatorului. Puterea reactivă (25). 23. Clasificarea condensatoarelor (25).

b) *Caracteristicile dielectricilor pentru condensatoare* 26

24. Generalităţi (26). 25. Rigiditatea dielectrică (27). 26. Intensitatea cîmpului electric (29). 27. Constanta dielectrică (31). 28. Rezistenţa de izolaţie (32). 29. Pierderi dielectrice (33).

c) *Caracteristicile armăturilor* 33

30. Generalităţi (33). 31. Armături din foiţe metalice (34). 32. Armături obţinute prin metalizarea suprafeţei dielectricului (34).

d) *Caracteristicile condensatoarelor* 35

33. Sarcina reziduală (35). 34. Pierderi de energie (36). 35. Durata de funcţionare a condensatorului (36). 36. Tensiunea de străpungere (37).

e) *Fabricarea condensatoarelor cu hîrtie impregnată* 37

37. Generalităţi (37). 38. Hîrtia pentru condensatoare (38). 39. Impregnarea condensatoarelor (38). 40. Condensatoare impregnate cu sovol (39). 41. Condensatoarele impregnate cu alte materiale izolante (40). 42. Consideraţii generale asupra fabricării condensatoarelor cu hîrtie impregnată (40).

f) *Principalele tipuri de condensatoare după principiul de construcţie* 41

43. Condensatoare cu vid (41). 44. Condensatoare cu aer (41). 45. Condensatoare cu ulei (42). 46. Condensatoare cu mică (42). 47. Condensatoare ceramice (43). 48. Condensatoare cu hîrtie impregnată (43). 49.

Condensatoare cu hîrtie metalizată (43). 50. Condensatoare cu dielectrici sintetici (44). 51. Condensatoare electrolitice (46).

g) *Principalele tipuri de condensatoare după domeniul de utilizare* 47

52. Condensatoare pentru îmbunătățirea factorului de putere (47). 53. Condensatoare pentru telefonie prin curenți purtători pe liniile de înaltă tensiune (47). 54. Condensatoare de filtraj (48). 55. Condensatoare pentru încălzire cu curenți de înaltă frecvență (49). 56. Condensatoare pentru înmagazinarea energiei (49). 57. Condensatoare tropicale (49).

D. Magneți și Electromagneți 49

a) *Generalități* 49

58. Definiții (49). 59. Proprietățile magnetice ale corpurilor feromagnetice (50). 60. Magneții (58). 61. Electromagneții (61).

b) *Calculul circuitelor magnetice* 64

62. Definiții (64). 63. Calculul circuitelor magnetice conținînd miez de oțel și întrefier de permeanță cunoscută (64).

c) *Determinarea permeanțelor căilor fluxului în aer* 72

64. Metode de determinare (72). 65. Metoda analitică (72). 66. Metoda grafică (79). 67. Calculul coeficienților de scăpări. (81).

d) *Calculul circuitelor magnetice în curent alternativ* 81

68. Generalități (81). 69. Calculul în cazul neglijării căderii de tensiune magnetică (82). 70. Calculul în cazul cînd se ține seama de căderea de tensiune magnetică (84). 71. Calculul în cazul cînd se consideră pierderile în miezul de oțel și căderea de tensiune în bobină (85). 72. Calculul circuitelor electromagneților cu bobine în scurtcircuit (85). 73. Circuite magnetice cu bobină de curent alternativ și bobină de curent continuu (86).

e) *Calculul forței de atracție a electromagneților* 87

74. Energia cîmpului magnetic (87). 75. Lucrul mecanic în cîmpul magnetic (88). 76. Forțele în cîmpul magnetic (90). 77. Formula forței în funcție de inductanță (92).

f) *Aplicarea formulelor pentru calculul forțelor magnetice* 93

78. Observații introductive (93). 79. Caracteristicile electromagneților de curent continuu, pentru tracțiune (100).

g) *Proiectarea electromagneților*........ 105

80. Indicații pentru proiectarea electromagneților de tracțiune (105). 81. Aplicarea indicațiilor de proiectare preliminară (108).

h) *Electromagneți de curent alternativ* .. 114

82. Generalități (114). 83. Forțele electromagneților de curent alternativ (114). 84. Stabilirea formulei forței în funcție de inductanțe (115). 85. Electromagneți polifazați (116). 86. Expresia lucrului mecanic efectuat (117). 87. Comparație între electromagneți de curent alternativ și cei de curent continuu (118). 88. Electromagneți de atracție directă (119). 89. Indicații de proiectare preliminară a electromagneților de atracție directă (119).

i) *Electromagneți cu dispozitive speciale* 121

90. Electromagneți cu acțiune temporizată (121). 91. Electromagneți cu acțiune rapidă (122). 92. Electromagneți cu bobinaj în scurtcircuit (122).

j) *Bobinajul electromagneților* 123

93. Descriere generală (123). 94. Diferitele feluri de bobinaj (123). 95. Calculul bobinajului 96. Executarea bobinajelor (127).

k) *Încercările electromagneților* 128

97. Măsurători (128). 98. Încercări (128).

l) *Utilizări ale electromagneților*........ 128

99. Electromagneți elevatori (128). 100. Ambreiaje electromagnetice (130). 101. Frîne electromagnetice (130). 102. Mandrine pentru strunguri (130). 103. Separatoare electromagnetice (130). 104. Ciocan electric (131). 105. Relee (131). 106. Dispozitive de acționare (131).

II. Aparate de pornire și reglaj pentru mașini rotative

1. Generalități (133).

A. Reostate pentru reglajul tensiunii și al turației prin variația excitației...... 134

2. Reostate de excitație pentru reglajul tensiunii generatoarelor (134). 3. Reostate de excitație pentru reglajul tensiunii generatoarelor de curent alternativ (135). 4. Calculul reostatelor pentru generatoare de curent continuu (136). 5. Calculul reostatelor pentru generatoare de curent alternativ

(140). 6. Reostate pentru reglajul turației motoarelor de curent continuu derivație (141). 7. Reostate pentru grupuri generator-motor (141). 8. Gabaritul reostatelor de excitație (142). 9. Puterea de rupere a reostatelor de excitație (144). 10. Întreruperea circuitelor de excitație avînd rezistențe inductive (146). 11. Diverse tipuri de reostate de excitație (147). 12. Comanda electrică la distanță a reostatelor de excitație (148).

B. Regulatoare automate 149

13. Generalități (149). 14. Regulatoare cu acțiune încetată (150). 15. Regulatoare cu acțiune accelerată (151). 16. Regulatoare cu acțiune rapidă (155). 17. Regulatorul sovietic HEMZ prin impulsii (157). 18. Regulatoare electronice (158). 19. Montaje pentru mersul în paralel al generatoarelor trifazate 163). 20. Excitatrice pentru regulatoare automate (164). 21. Alte aplicații ale regulatoarelor automate (165).

C. Calculul reostatelor de pornire pentru electromotoare 166

22. Condiții mecanice (166). 23. Pornirea în gol a convertizoarelor fără volant (171). 24. Condiții electrice (172). 25. Reostate de pornire pentru motoare de curent continuu, generalități (174). 26. Reostate de pornire pentru motoare de curent continuu derivație (177). 27. Reostate de pornire pentru motoare de curent continuu serie (180). 28. Reostate de pornire pentru motoare asincrone trifazate cu rotorul bobinat, pentru cuplul normal (182). 29. Reostate pentru motoare asincrone trifazate cu rotorul bobinat pentru cuplul maxim (188).

D. Calculul reostatelor pentru pornire și reglajul turației electromotoarelor 190

Generalități (190). 31. Reostate pentru motoare de curent continuu derivație (190). 32. Reostate pentru motoare de curent continuu serie (191). 33. Reglajul vitezei motoarelor de curent continuu prin bobine de reactanță cu miez saturat (192). 34. Reostate pentru motoare asincrone trifazate cu rotorul bobinat (193). 35. Reostate pentru motoare antrenînd ventilatoare sau pompe centrifuge (194). 36. Reostat pentru motoare cu turații și cupluri variabile periodic (195).

E. Rezistențe și reostate lichide și reostate de pornire metalice în ulei 196

37. Rezistența electrică a lichidelor (196). 38. Dezvoltarea gazelor explozive prin electroliză (197). 39. Reostate de încărcare lichide (198). 40. Construcția reostatelor de pornire lichide (200). 41. Capacitatea reostatelor de pornire lichide și a celor metalice cu răcire în ulei sau nisip (205). 42. Funcționarea reostatelor lichide și a celor metalice în ulei, în regim permanent (207). 43. Încălzirea și răcirea reostatelor lichide și a celor metalice în ulei (208). 44. Răcirea artificială a reostatelor lichide și a celor metalice, în ulei (210).

F. Construcția și dimensionarea rezistențelor metalice..................... 213

45. Rezistențe din fire, benzi și fontă. (213). 46. Calculul algebric și grafic al rezistențelor conectate în paralel (223). 47. Conductori de legătură pentru reostate și rezistențe (224).

G. Comutatoare întrebuințate în aparatele de pornire și reglaj 225

48. Clasificare (225). 49. Comutatoare format plan cu ploturi fixe și perii mobile și format colector cu perii mobile (226). 50. Comutatoare tip controler, format tobă (232). 51. Comutatoare tip controler cu came (235). Dispozitive de suflaj magnetic al arcului (238).

H. Scheme de montaj și conexiuni specifice aparatelor de pornire și reglaj 239

53. Reostate metalice de pornire și reglaj pentru motoare de curent continuu (239). 54. Reostat de pornire și reglaj pentru motoare asincrone trifazate cu rotorul bobinat (243). 55. Dispozitive de protecție anexe reostatelor (246).

I. Aparate de pornire pentru motoare asincrone trifazate cu rotorul în scurtcircuit și pentru motoare monofazate 248

56. Generalități (248). 57. Comutatoare stea-triunghi (249). 58. Autotransformatoare

de pornire (250). 59. Pornirea motoarelor monofazate (251).

J. Tipuri constructive și întrebuințarea lor 251
60. Tipuri constructive (251). 61. Reostate metalice în aer (252). 62. Reostate metalice în ulei (252). 63. Controlere cu rezistențe în aer (253). 64. Reostate cu rezistențe lichide (253).

K. Exploatarea aparatelor de pornire și reglaj 253
65. Indicații generale privind montajul, exploatarea și întreținerea aparatelor de pornire și reglaj (253).

III. Aparate de conectare

Noțiuni generale și teoretice

A. Generalități 257
a) *Introducere* 257
1. Rolul aparatelor de conectare (257). 2. Criterii generale (257)
b) *Clasificare* 257
3. După funcțiuni (257). 4. După felul manevrării (258).
c) *Definiții și terminologie* 258
5. Întreruptoarele (258). 6. Contactoarele și ruptoarele (259). 7. Comutatoarele (260). 8. Prizele de curent (260). 9. Conectoarele (260).
d) *Domeniu, evoluție, tendințe* 260
10. Influența tensiunii și a puterii de rupere (260).

B. Contacte electrice 261
a) *Definiții și clasificări* 261
11. Definiții (261). 12. Clasificarea contactelor (261).
b) *Natura rezistenței de contact* 261
13. Rezistența de stricțiune (261). 14. Pături străine (262).
c) *Suprafețe de contact și presiunea în contact* 262
15. Suprafețe microscopice de contact (262). 16. Contactul ideal între două sfere (262).
d) *Calculul rezistenței și al încălzirii contactelor* 264
17. Schematizarea contactului (264). 18. Rezistența de contact în funcție de presiune (265). 19. Încălzirea contactelor (268). 20. Variația cu temperatura, a proprietăților materialului (268). 21. Repartizarea staționară a temperaturii (269). 22. Rezistența peliculară (271). 23. Comportarea contactelor (273).
e) *Construcția contactelor* 273
24. Principii pentru dimensionarea contactelor fixe (273). 25. Contactele de racordare (280). 26. Contactele de întrerupere (281).

C. Formarea și stingerea arcului electric 283
a) *Generalități* 283
27. Definiția puterii de rupere (283). 28. Apariția arcului (284).
b) *Deschiderea contactelor fără scînlei* 284
29. Curentul limită (284). 30. Tensiunea de licăriri (285).
c) *Caracteristici ale arcurilor electrice* .. 286
31. Explicația caracteristicii descendente (286).
32. Caracteristica arcurilor stabile de curent continuu (286). 33. Stabilitatea termică a arcului (288).
d) *Intreruperea circuitelor de curent continuu* 288
34. Condiția stingerii arcului de curent continuu (288) 35. În circuite pur ohmice (289). 36. În circuite inductive (290). 37. Elemente suplimentare în circuit (291). 38. Suflaj prin gaze (291). 39. Efectul de perete (291). 40. Arcurile electrice în vid avansat (292).
e) *Întreruperea circuitelor de curent alternativ* 292
41. Condiții de stingere a arcului de curent alternativ (292). 42. Întreruperea scurtcircuitelor (293). 43. Oscilații proprii ale circuitului (294). 44. Întreruperea circuitelor pur capacitive (295). 45. Întreruperea circuitelor neinductive (296).
f) *Metode de stingere a arcurilor în curent alternativ* 296
46. Principiile metodelor de stingere (296). 47. Elemente adiționale în circuit (297). 48. Metode care se referă la atenuarea arcului (297). 49. Calculul stingerii arcului la întreruptoarele pneumatice (298). 50. Analiza stingerii arcului în lichide (299).

D. Criterii generale de proiectare și de construcție a aparatelor electrice 302
a) *Solicitări de regim și solicitări accidentale* 302

51. Solicitări de regim (302). 52. Solicitări accidentale (302).
b) *Date principale* 302
53. Curentul nominal (303). 54. Capacitatea de rupere (303). 55. Capacitatea de închidere (303). 56. Tensiunea de rupere (303). 57. Frecvența întreruperilor (304).
c) *Solicitări mecanice* 304
58. Eforturi electrodinamice (304). 59. Calculul forțelor electrodinamice (305).
d) *Solicitări termice* 308
60. Condiții de încălzire (308). 61. Principiile calculelor de încălzire (309). 62. Încălzirea în regim nominal (311). 63. Încălzirea la scurtcircuit (315). 64. Stările transitorii ale încălzirii (317).
e) *Solicitări electrice* 319
65. Cauzele solicitărilor dielectricului (319). 66. Dimensionarea izolației (320).
f) *Rolul prescripțiilor* 320
67. Prescripțiile și standardele (320).

Aparate electrice de conectare de joasă tensiune (pînă la 1000 V inclusiv)

E. Generalități și definiții 322
68. Clasificare (322). 69. Caracteristicile aparatelor (323). 70. Considerații asupra planului de tratare (324).

F. Întreruptoare și comutatoare pentru instalații de iluminat 324
71. Clasificare (324).
72. Piese componente (325). 73. Principii de construcție (327). 74. Tipuri uzuale de întreruptoare și de comutatoare (331). 75. Sisteme de acționare ale întreruptoarelor și ale comutatoarelor (332). 76. Utilizări (334). 77. Încercări (335).

G. Întreruptoare și comutatoare cu pîrghie și separatoare 335
78. Clasificare (335). 79. Principii de construcție (336). 80. Încercări (340).

H. Întreruptoare automate 340
81. Clasificare (340). 82. Piese componente (341). 83. Principii de construcție (342). 84. Tipuri uzuale de întreruptoare automate (346). 85. Încercări, condiții de montare și de racordare a întreruptoarelor automate (350).

I. Declanșoare și relee 351
86. Generalități (351). 87. Relee și declanșoare termice (351). 88. Relee și declanșoare electromagnetice (356).

J. Dispozitive de stingere a arcului 358
89. Generalități. Principiul suflajului magnetic (358). 90. Camere de stingere (deionizante) (360).

K. Contactoare și ruptoare 361
91. Definiții și clasificare (361). 92. Principii de construcție și tipuri uzuale de contactoare (361). 93. Utilizări, dispozitive auxiliare, încercări (364).

L. Prize de curent (cu fișe) și conectoare 367
94. Clasificare (367). 95. Principii de construcție (369). 96. Utilizarea diferitelor tipuri de prize (371). 97. Contacte de protecție și accesorii (373). 98. Încercări (377).

M. Siguranțe cu fuzibile 377
99. Generalități (377). 100. Fuzibile (379). 101. Tipuri uzuale de siguranțe (382). 102. Utilizări și încercări (385).

N. Aparataj capsulat 385
103. Principii de construcție (385). 104. Aparate în cutii capsulate (386). 105. Tablouri capsulate de distribuție (387). 106. Cofrete capsulate, cu întreruptoare automate în ulei (390). 107. Aparate capsulate contra exploziilor (391). 108. Încercări asupra aparatajului capsulat (392).

Aparate electrice de înaltă tensiune

O. Fuzibile de înaltă tensiune.......... 394
a) *Definiții și principii generale* 394
109. Fuzibilele (394). 110. Capacitatea de rupere a fuzibilelor (394).
b) *Tipuri generale* 394
111. Fuzibile neprotejate (394). 112. Fuzibile protejate (395). 113. Efectul corona (395).
c) *Calculul fuzibilelor* 395
114. Premizele calculelor (395). 115. Încălzirea de regim (396). 116. Încălzirea și topirea la scurtcircuit (398). 117. Calculul topirii și al evaporării (400). 118. Stingerea arcului (400).
d) *Principii constructive* 401
119. Construcția fuzibilelor de înaltă tensiune (401). 120. Caracteristicile fuzibilelor (402).
e) *Diferite tipuri constructive* 402
121. Tipuri cu tensiuni pînă la 10 kV (402).
122. Tipuri cu tensiuni peste 10 kV (403).
123. Tipuri cu puteri de rupere mari (403).

f) *Aplicații* 403
124. Alegerea fuzibilelor (403). 125. Dispunerea în instalații (403). 126. Aplicații speciale (403).

P. Separatoare 405

a) *Definiții* 405
127. Separatoarele (405). 128. Prescripții de manevră și de siguranță (405).

b) *Manevrarea separatoarelor* 405
129. Principii generale (405). 130. Curenți limită (405). 131. Considerații asupra stingerii arcului (406). 132. Condiții de manevrare (406).

c) *Construcția separatoarelor* 406
133. Descriere sumară (406). 134. Clasificare (406).

d) *Condiții cerute separatoarelor* 407
135. Tensiunea (407). 136. Încălzirea (408). 137. Solicitări mecanice (408).

e) *Detalii constructive* 409
138. Generalități (409). 139. Forme constructive de separatoare (410). 140. Cuțitele de separatoare și mișcările lor (412). 141. Construcții speciale pentru tensiuni peste 35 kV (412). 142. Acționarea separatoarelor (413). 143. Contacte auxiliare (415). 144. Separatoare cu un singur izolator (415).

f) *Moduri de utilizare, avarii* 415
145. Generalități (415). 146. Reguli de montaj (415). 147. Deteriorările posibile (415). 148. Separatoare de punere la pămînt (416).

Q. Întreruptoare de înaltă tensiune 416

a) *Generalități* 416
149. Principii constructive (416). 150. În curenți alternativi (416).
151. Diferite modificări ale formei și ale construcției contactelor (417).

b) *Construcții noi de întreruptoare cu putere de rupere* (întreruptoare de putere) 417
152. Scurt istoric (417). 153. Condițiile principale (418). 154. Puterea de rupere (418). 155. Ciclul de încercare normal (418). 156. Panta tensiunii de revenire (419). 157. Închiderea pe scurtcircuit (420).

c) *Desfășurarea în timp a fenomenelor de întrerupere* 420
158. Timpul de funcționare a întreruptoarelor (420). 159. Reanclanșarea rapidă (420).

d) *Întreruptoarele de înaltă tensiune cu ulei mult* 421
160. Generalități (421). 161. Întreruptoarele în cuvă de ulei pusă la pămînt (421). 162. Cuva etanșă de ulei (422). 163. Construcția contactelor (423). 164. Construcțiile speciale pentru controlul și pentru stingerea arcului (423). 165. Camera de explozie (423). 166. Dispozitivele de mișcare forțată a uleiului (423). 167. Întreruptorul tip Deion (425). 168. Întreruptoarele cu cuvă sub tensiune (426).

e) *Întreruptoare cu ulei puțin* 426
169. Istoric și generalități (426). 170. Întreruptoarele cu piston diferențial (427). 171. Întreruptoare cu impuls de ulei (428).

f) *Întreruptoare cu apă* 429
172. Principii generale (429). 173. Întreruptoarele cu expansiune (429).

g) *Întreruptoare pneumatice* (cu aer comprimat) 430
174. În construcția întreruptoarelor pneumatice (430). 175. Diferite forme constructive (431). 176. Întreruptorul pneumatic aerodinamic (432).

h) *Întreruptoare cu autoformare de gaze*..433
177. Principiu constructiv (433). 178. Concluzii (433).

i) *Întreruptoarele de înaltă tensiune în exploatare* 434
179. Manevrarea întreruptoarelor (434). 180. Declanșarea automată (434). 181. Exploatarea și întreținerea întreruptoarelor (434).

R. Dispozitive de acționare și comandă a aparatelor de conectare de înaltă tensiune 435

a) *Generalități* 435
182. Rolul și importanța dispozitivelor de acționare (435). 183. Terminologie (435). 184. Clasificarea dispozitivelor de acționare și comandă (437). 185. Caracteristicile generale ale dispozitivelor de acționare și comandă (437). 186. Construcția dispozitivelor de acționare și comandă (439).

b) *Dispozitive de acționare manuală*.... 440
187. Dispozitive de acționare cu volan sau manetă (440). 188. Dispozitivul de acționare manuală tip PRBA (442).

c) *Dispozitive de acționare cu servomotor* 446
189. Principiul acumulării de energie pentru acționare (446). 190. Dispozitive de acționare

cu resort (446). 191. Dispozitivul de acționare cu greutate (446). 192. Dispozitivul de acționare universal cu greutate tip UGP (447). 193. Dispozitive de acționare electromagnetice (449). 194. Dispozitivul de acționare electromagnetic tip PS-10 (451). 195. Calculul siguranțelor din circuitul bobinei de anclanșare, a dispozitivelor de acționare electromagnetice (452). 196. Dimensionarea bateriilor de acumulatoare pentru comanda dispozitivelor de acționare electromagnetică (454). 197. Dispozitive de acționare cu electromotor (455). 198. Dispozitive de acționare pneumatice (457). 199. Dispozitivul de acționare pneumatică a întreruptorului tip PTK (457). 200. Instalația de aer comprimat și dimensionarea ei (458). 201. Comparația dispozitivelor de acționare cu acumulare (459). 202. Dispozitive de acționare pentru reanclanșarea automată (459).

d) *Dispozitive de blocare* 460
203. Necesitatea dispozitivelor de blocare (460). 204. Blocarea mecanică (461). 205. Blocarea electromagnetică (462). 206. Blocarea pneumatică (463).

e) *Dispozitivele de comandă și semnalizare a aparatelor de conectare* 463
207. Principii constructive (463). 208. Tipuri executate (464). 209. Calculul elementelor de supraveghere optică a stării circuitelor de comandă (465).

IV. Aparate de protecție a instalațiilor electrice

A. Relee de protecție 467

a) *Generalități* 467
1. Clasificare (467).

b) *Relee electrice* 468
2. Releele electromagnetice (468). 3. Releele de inducție (474). 4. Relee electrodinamice. (475) 5. Relee electrice termice (476). 6. Releele electronice (478).

c) *Releele termice* 478
7. Clasificare (478). 8. Releul termometric cu contact (480). 9. Releul termometric cu gaz (480). 10. Releul termometric electric (480).

d) *Releele mecanice* 481
11. Releele de nivel sau de gaz (481). 12. Releele de presiune (481).

e) *Relee de protecție* 481
13. Clasificare (481). 14. Relee de curent (482). 15. Relee de tensiune (496). 16. Relee de diferență sau diferențiale (496). 17. Relee direcționale sau de putere (506). 18. Relee de impedanță (513). 19. Relee de reactanță (517). 20. Relee de temperatură (519). 21. Relee de gaz (519). 22. Relee de timp (519). 23. Relee contactoare (519).

B. Aparate de protecție contra supratensiunilor 523

a) *Generalități* 523
24. Rolul aparatelor de protecție contra supratensiunilor (523). 25. Fenomene fundamentale la supratensiuni (523). 26. Evoluția (524). 27. Clasificare (525). 28. Definiții (526). 29. Principiul de funcționare al aparatelor (528). 30. Solicitările aparatelor de protecție (528). 31. Condiții impuse (530).

b) *Eclatoare* 531
32. Principii (531). 33. Dimensionarea eclatoarelor (531). 34. Eclatoare cu coarne (533). 35. Aparate speciale cu eclatoare (534). 36. Eclatoare de protecție (535).

c) *Descărcătoare tubulare* 538
37. Principiile descărcătoarelor tubulare (538). 38. Dimensionarea descărcătoarelor tubulare (540). 39. Principii constructive pentru descărcătoare tubulare (541). 40. Tipuri de descărcătoare tubulare (543). 41. Utilizarea, montarea și întreținerea descărcătoarelor tubulare (547).

d) *Descărcătoare cu caracteristică neliniară* 548
42. Principiile descărcătoarelor cu caracteristică neliniară (548). 43. Funcționarea (549). 44. Comparația cu alte descărcătoare (551). 45. Tehnologie și construcție (552). 46. Dimensionarea descărcătoarelor cu rezistență variabilă (557). 47. Tipuri de descărcătoare cu caracteristică neliniară (559). 48. Utilizarea și montarea descărcătoarelor cu caracteristică neliniară (563).

e) *Aparate speciale de protecție* 564
49. Condensatoare și cabluri (564). 50. Aparate combinate (565).

V. Elemente electrice ale instalaţiilor automate şi telemecanice

A. Generalităţi 567

1. Instalaţiile automatice (567). 2. Instalaţiile telemecanice (568). 3. Elementele instalaţiilor de automatică şi telemecanică şi caracteristicile lor generale (568).

B. Traductoare 570

4. Generalităţi (570). 5. Traductoarele rezistive pentru măsurarea mărimilor mecanice (571). 6. Traductoare inductive pentru măsurarea deplasărilor (572). 7. Traductoarele capacitive (573). 8. Traductoarele cu termorezistenţă (574). 9. Traductoarele cu termocuplu (577). 10. Circuite de măsură (578).

C. Relee 579

11. Generalităţi (579). 12. Contactele releelor (580). 13. Releul electromagnetic de curent continuu (582). 14. Releul electromagnetic de curent alternativ (589). 15. Releul polarizat (591). 16. Relee magnetoelectrice (592). 17. Relee electronice (592). 18. Relee electronice fără contacte (triggere) (594). 19. Relee şi regulatoare cu tiratron (595). 20. Relee cu tuburi cu catod rece (602). 21. Relee cu tiratron cu catod rece (602). 22. Releele cu celulă fotoelectrică (603).

D. Amplificatoare magnetice 605

23. Generalităţi (605). 24. Principiul de funcţionare şi detalii constructive (605). 25. Calculul unui amplificator magnetic (609). 26. Amplificatoare magnetice diferenţiale (610). 27. Amplificatoare magnetice cu reacţie (611). 28. Constanta de timp a amplificatoarelor magnetice (613). 29. Amplificatoare magnetice funcţionînd ca relee (613).

E. Stabilizatoarele 614

30. Generalităţi (614).

a) *Stabilizatoare parametrice* 615

31. Stabilizator cu tub cu descărcare lentă (stabilovolt) (615). 32. Stabilizator cu termistor (616). 33. Stabilizator cu baretor (617). 34. Stabilizatoarele magnetice întrebuinţate pentru tensiuni aternative (619). 35. Stabilizatoare cu ferorezonanţă (620). 36. Caracteristicile generale ale stabilizatoarelor cu circuit magnetic saturat (624).

b) *Stabilizatoare prin compensaţie* 625

37. Stabilizatoarele electronice (625). 38. Stabilizatoarele de tensiune cu amplificatoare magnetice (625). 39. Stabilizatoarele de tensiune cu cărbune (626).

F. Comutatoare 626

40. Generalităţi (626). 41. Comutatorul pas cu pas (626). 42. Comutatorul cu relee (627) 43. Comutatorul electronic (627).

G. Elemente de calcul 628

44. Generalităţi (628). 45. Elemente pentru adunare (628). 46. Elemente pentru înmulţire sau împărţire (629). 47. Elemente pentru calculul diferenţial şi integral (630).

H. Elemente pentru legături sincrone .. 632

48. Generalităţi (632). 49. Sistem electromagnetic de legătură sincronă (632). 50. Sistem electrodinamic de legătură sincronă (632). 51. Sistem de inducţie pentru legătură sincronă (selsin) (633).

1. Generalități. Sînt considerate ca elemente de circuit: *rezistențele electrice, bobinele de inductanță, condensatoarele și electromagneții.* Magneții, avînd o serie de proprietăți analoge sînt tratați tot aici.

A. Rezistențe electrice (rezistoare)

a) Proprietăți generale

2. Definiții și caracteristici. Se reamintește definiția rezistenței electrice, ca raportul dintre diferența de potențial constantă, aplicată la capetele elementului de circuit respectiv și intensitatea curentului continuu care se produce în el, elementul de circuit nefiind sediul nici unei forțe electromotoare.

Rezistența electrică se mai poate defini ca fiind proprietatea unui corp sau unui mediu străbătut de curent, de a transforma energia electrică în energie termică, mărimea corespunzătoare fiind măsurată prin raportul dintre puterea electrică absorbită de corp și pătratul curentului continuu sau alternativ eficace care-l străbate.

După mărimea rezistivității (rezistenței specifice), corpurile pot fi:

α) *Conductori electrici* propriu ziși, avînd rezistivitatea mai mică decît circa 1 Ω · cm.

β) *Semiconductori*, cu rezistivitatea cuprinsă între 1 Ω·cm și miliarde de Ω·cm (giga Ω·cm); de obicei se ia ca limită superioară cifra de 10^{10} Ω·cm.

γ) *Izolanți*, cu rezistivitate mai mare decît limita superioară admisă pentru semiconductori.

3. Rezistența electrică ca element de circuit. α) Acest element de circuit avînd rolul de a introduce în circuit o rezistență electrică, se confundă uneori cu însăși *proprietatea fizică a rezistenței electrice*, și este denumit deseori *rezistență neinductivă sau ohmică* (fiindcă satisface legea lui Ohm) sau simplu, *rezistență*.

De aceea este indicat a se separa două noțiuni, care de fapt sînt total diferite și anume: cea de *rezistor*, prin care se înțelege corpul conductor sau semiconductor întrebuințat ca element de circuit *pentru proprietatea sa de a avea o anumită rezistență electrică* și cea de *rezistență electrică*, această din urmă denumire rămînînd a defini *proprietatea fizică*, menționată în cele ce preced.

β) Relația de definiție a rezistenței electrice este:

$$R = \frac{U}{I}, \tag{3.1}$$

în care: U este diferența de potențial (tensiunea) constantă continuă aplicată la capetele rezistorului;

I — curentul constant obținut prin rezistor.

γ) Trebuie considerate drept rezistoare și conductorii sau semiconductorii care au o anumită reactanță inductivă sau capacitivă, de o valoare sensibil mai

redusă decît cea a rezistenței electrice. În acești conductori sau semiconductori, curentul care îi străbate este definit de relația generală a curentului alternativ:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}, \tag{3.3}$$

în care: I este valoarea eficace a curentului în elementul de circuit;
U — valoarea tensiunii eficace aplicate între capetele aceluiași element;
$L\omega = X_L$ — reactanța inductivă a elementului;
$\frac{1}{C\omega} = X_C$ — reactanța capacitivă a elementului.

Din cele două reactanțe, una sau alta poate fi neglijabilă, după caz.

Se mai obișnuiește să se definească, pentru un conductor sau semiconductor electric, «coeficientul de calitate»:

$$q = \frac{X}{R}\,100\ [\%], \tag{3.4}$$

în care: $X = X_L - X_C$ este reactanța globală a conductorului (semiconductorului);
R — rezistența electrică a acestuia.

Cînd valoarea coeficientului de calitate este redusă, elementul respectiv de circuit are funcțiunea de rezistor, rezistența electrică fiind preponderentă față de reactanțe.

Cînd valoarea coeficientului de calitate este mare elementul respectiv de circuit are funcțiunea de reactanță.

O cifră precisă în acest sens nu se poate stabili, fiind însă determinant în primul rînd *rolul* pe care-l are elementul respectiv de circuit.

b) Efectele prezenței rezistenței electrice (rezistoarelor) într-un circuit

4. **Căderea de tensiune.** α) *Definiție*: Acest efect se definește prin relația:

$$\Delta U = R \cdot I\ [\mathrm{V}],$$

ΔU fiind tot diferența de potențial aplicată la capetele elementului de circuit considerat.

β) *Compunerea tensiunilor cu căderile de tensiune.* Într-un circuit compus din sursa de energie electrică S și receptorul de energie R, legate între ele prin doi conductori (rezistențe) R' și R'', căderea totală de tensiune în conductorii de legătură va fi:

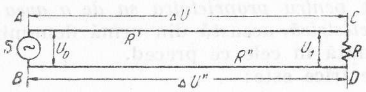


Fig. 1. — Căderile de tensiune într-un circuit cu doi conductori.

$$\Delta U_t = \Delta U' + \Delta U''\ [\mathrm{V}]. \tag{4.1}$$

Totodată va rezulta tensiunea aplicată receptorului U_1, în funcție de tensiunea sursei U_0:

$$U_1 = U_0 - \Delta U_t\ [\mathrm{V}], \tag{4.2}$$

care reprezintă o diferență scalară sau vectorială, după cum curentul în circuit este continuu sau alternativ.

Potențialul punctului C al receptorului se deduce scăzînd $\Delta U'$ din potențialul corespunzător al punctului A al sursei, iar potențialul punctului D scăzînd

$\Delta U''$ din potențialul punctului B al sursei. ΔU_t va defini astfel *căderea de tensiune între doi conductori* de la sursa de energie, pînă la receptor.

γ) *Căderi de tensiune procentuale.* În practică se ia drept criteriu de apreciere a căderii de tensiune între sursa de energie și receptor *căderea procentuală de tensiune*, exprimată prin:

$$u = \frac{\Delta U}{U}\,100\ [\%], \tag{4.3}$$

în care, ΔU este căderea totală de tensiune între doi conductori, între sursă și utilizare, în V;
U — diferența de potențial (tensiunea) între doi conductori, la sursa de energie electrică.

În practica exploatărilor de energie, există două moduri deosebite de a trata căderile de tensiune:

δ) *Reducerea cît mai pronunțată a căderii de tensiune* este în general necesară la circuitele electrice, pentru a obține tensiunea normală de funcționare la receptor, cu minimum de cheltuieli totale. Această reducere se obține prin mai multe mijloace.

ε) Rezistența conductorilor variază *liniar* cu temperatura, în zona de temperaturi corespunzînd regimurilor normale de funcționare (în general între zero și 100°C).

ζ) Conductorii *situați la limită, între proprietățile conductorilor și cele ale semiconductorilor*, prezintă particularitatea unei rezistențe practic constante (respectiv un coeficient de temperatură foarte mic), între zero și 200°C. Acesta este cazul *aliajelor metalice pentru rezistoare*, utilizate în reostatele de pornire pentru motoare electrice, și în rezistoarele cuptoarelor electrice. Curba $\Delta U = f(I)$ este în acest caz *practic o dreaptă*.

η) Rezistoarele construite din semiconductorii din categoria numită *termistoare*, au ca proprietate *scăderea rezistenței la creșterea curentului* (coeficient de temperatură negativ). Căderea de tensiune crește în acest caz mai încet decît în cazul variației liniare, cînd crește curentul, respectiv după o curbă cu concavitatea în jos.

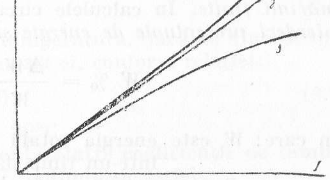


Fig. 2.—Variația căderii de tensiune cu curentul în rezistoare în cazul utilizării a diferite categorii de materiale: *1* — conductori; *2* — aliaje rezistente; *3* — termistoare.

În fig. 2 este reprezentată variația căderii de tensiune cu curentul, în toate cele 3 cazuri examinate în aliniatele precedente.

θ) În fine, mai trebuie amintită aici comportarea semiconductorilor denumiți *varistoare*, a căror rezistență descrește exponențial, cînd crește tensiunea aplicată la capetele rezistoarelor formate din ei. Ei se utilizează în *descărcătoarele* pentru protecția contra supratensiunilor, legate în serie între fiecare conductor activ și pămînt, prin intermediul unui eclator (spațiu de aer). Cînd acesta din urmă este străpuns de o supratensiune, rezistența scade după legea

$$R = KU^{-n}. \tag{4.4}$$

Valorile lui U fiind în aceste cazuri foarte mari, rezistența R devine neglijabilă odată cu $\Delta U = RI$ și conductorul activ este pus la pămînt, pentru scurgerea energiei produsă de fenomenele atmosferice. Pentru detalii, a se vedea capitolul «*Materiale electrotehnice*» și subcapitolul «*Aparate de protecție contra supratensiunilor*».

5. **Pierderea de energie și de putere.** α) *Generalități*. După cum s-a arătat și în § 2 al acestui subcapitol, rezistența electrică se mai definește ca fiind proprietatea de natură scalară a unui circuit electric sau a unui element de circuit, care determină, la un curent dat în acel circuit (element de circuit), proporția în care energia electrică transmisă prin el se transformă în energie calorică (în căldură).

Fenomenul se exprimă cantitativ prin legea Joule-Lenz, care se formulează într-un regim cvasistaționar prin relația:

$$W_p = \int_0^t RI^2\,dt, \tag{5.1}$$

în care: I este valoarea curentului continuu sau valoarea eficace a curentului alternativ, după caz;
W_p — energia pierdută în circuitul (elementul de circuit) considerat;
R — rezistența circuitului (elementului de circuit);
t — timpul în care se produce pierderea de energie.

Cînd rezistența electrică se menține constantă, R iese de sub semnul integralei. De asemenea, cînd curentul I (continuu sau alternativ eficace) se menține constant în tot timpul t menționat, legea Joule-Lenz capătă forma:

$$W_p = RI^2\,t \text{ [Ws sau kWh]}. \tag{5.2}$$

În fine, dacă se limitează fenomenul la timpul infinit mic dt, energia pierdută în acest timp va fi dW_p, iar raportul între ea și timpul dt, *pierderea de putere momentană* în elementul de circuit sau în circuitul considerat:

$$\frac{dW_p}{dt} = RI^2 = P_p \text{ [W]}. \tag{5.3}$$

β) *Pierdere de energie și putere absorbită și procentuală.* Se obișnuiește în practică să se noteze pierderile absolute de energie și de putere cu ΔW [Ws sau kWh], respectiv cu ΔP [W], rămînînd însă precizat că aceste notații reprezintă *mărimi finite*. În calculele circuitelor electrice se mai utilizează și noțiunile de *pierderi procentuale de energie și putere*, exprimate prin:

$$W\,\% = \frac{\Delta W}{W}\,100 \quad \text{și} \quad P\,\% = \frac{\Delta P}{P}\,100, \tag{5.4}$$

în care: W este energia totală transmisă printr-un circuit (element de circuit) într-un timp dat;
P — puterea *medie* transmisă în același timp prin circuit (element de circuit).

c) Variația rezistivității și a rezistenței electrice în funcție de diferite mărimi

6. **Variația rezistivității și a rezistenței, în cazul conductorilor solizi.** α) *Relații uzuale.* În cele mai multe cazuri de utilizare a acestor rezistoare, alcătuite din conductori (materiale solide), avînd o lungime mare în raport cu secțiunea transversală, rezistența corespunde relației cunoscute:

$$R = \rho\,\frac{l}{s}\ [\Omega]. \tag{6.1}$$

Totodată, rezistivitatea este inversul conductivității:

$$\rho = \frac{1}{\gamma}. \tag{6.2}$$

β) *Variația rezistivității în funcție de temperatură* se exprimă prin relația:

$$\rho = \rho_0\,(1 + \alpha_\rho\,\theta + \beta\theta^2), \tag{6.3}$$

în care: ρ_0 este rezistivitatea materialului la 0°C;
θ — temperatura conductorului, în °C;
α_ρ și β — coeficienți de temperatură.

De obicei, în intervalul de temperaturi uzuale pentru conductori (între zero și 100°C), formula utilizată în practică este:

$$\rho = \rho_0\,(1 + \alpha_\rho\,\theta). \tag{6.4}$$

În cazul conductorilor utilizați la temperaturi mai mari (rezistoare pentru cuptoare electrice și aparate electrotermice), se utilizează formula completă.

Totodată, în practică se utilizează în locul valorii ρ_0, valoarea ρ_{20°, rezistivitatea conductorilor la +20°C, iar în locul temperaturii θ, diferența $\theta - 20$°C.

Este de observat că în cazul metalelor celor mai întrebuințate drept conductori, α_ρ este ceva mai mic decît 0,04 $[°C]^{-1}$, astfel încît:

$$\frac{1}{\alpha_\rho} \cong 273\text{°C}, \tag{6.5}$$

de unde rezultă:

$$\frac{1}{\alpha_\rho} + \theta = T\ [\text{°K}], \tag{6.6}$$

în care T este temperatura absolută a conductorului.

În consecință, relația (6.4) devine:

$$\rho = \rho_0\,\alpha_\rho\,T. \tag{6.6}$$

γ) *Rezistența unui circuit*, variază și ea cu temperatura, dacă se ține seamă și de variația celorlalte elemente care intră în expresia ei, conform relației:

$$R = R_0\,(1 + \alpha_R\,\theta), \tag{6.7}$$

în care R_0 poate fi înlocuit cu R_{20° iar θ cu $\theta - 20$°C.

Într-o serie de cazuri se poate neglija diferența dintre coeficienții de temperatură ai rezistenței și rezistivității unui material, notîndu-se astfel:

$$\alpha_\rho = \alpha_R. \tag{6.8}$$

În apropiere de zero absolut, rezistivitatea majorității metalelor scade brusc la zero, ceea ce determină fenomenul de *supraconductivitate*, ρ devenind neglijabil cînd T tinde către zero.

δ) După cum s-a arătat mai înainte, valoarea rezistivității ρ_0 sau $\rho_{20°C}$ mai depinde de *compoziția conductorului*: la metale rezistivitatea crește cu creșterea procentului unui alt metal cu care se aliază, sau încă, atunci cînd metalele aliate intră într-o soluție solidă, rezistivitatea prezintă un minimum la un anumit raport al metalelor componente, ca mai departe să crească cu acest raport. De asemenea, rezistivitatea variază *cu starea de agregare a conductorilor*. Astfel, la metale, rezistivitatea crește brusc la temperatura de topire.

ε) *Tratamentele mecanice* la care se supun metalele, modifică de asemenea rezistivitatea acestora. Astfel, ecruisarea acestora le mărește rezistența la rupere, dar în schimb le mărește și rezistivitatea. La conductorii din sîrme subțiri, rezistivitatea crește sensibil cînd scade diametrul. În fine, cînd crește curentul și scade secțiunea, ajungîndu-se *la densități mari de curent, legea lui Ohm nu mai este valabilă*, ne mai obținîndu-se o relație liniară între curent și tensiune.

ζ) *Tratamentele termice* care se aplică metalelor, modifică și ele rezistivitatea acestora. Deci tratamentele termice se execută la anumite temperaturi (recoaceri și reveniri), la care se obține o mai bună conductivitate, respectiv o reducere a rezistivității: de exemplu, cuprul tratat prin recoacere la 500°C, devine *moale* și mai bun conducător.

Detalii asupra acestor moduri de variație a rezistivității se găsesc în capitolul «*Materiale Electrotehnice*» din acest manual.

η) *Cîmpurile magnetice* fac și ele să varieze rezistivitatea conductorilor metalici supuși acestora, astfel cum se arată în capitolul I «*Diferite fenomene electrice*» din volumul I al acestui manual.

θ) *Efect pelicular.* În curent alternativ, variația în timp a cîmpului magnetic produce o atragere înspre exterior a liniilor de curent din conductori, fenomenul petrecîndu-se ca și cînd nu mai participă întreaga secțiune a conductorului la trecerea curentului, ci numai un strat periferic (în jurul periferiei secțiunii transversale) cu atît mai subțire, cu cît frecvența curentului alternativ e mai mare (*efect pelicular*).

Grosimea stratului în care se concentrează practic liniile de curent, denumită și *adîncime de pătrundere* în conductor, variază invers proporțional cu rădăcina pătrată a frecvenței curentului alternativ f și cu cea a permeabilității magnetice a conductorului respectiv, cum și direct proporțional cu rădăcina pătrată a rezistivității ρ.

Pentru conductorii de secțiune circulară, adîncimea de pătrundere se exprimă prin relația simplă:

$$\delta = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\rho}{\mu f}\,10^9}\ \text{[cm]}. \tag{6.9}$$

În cazul conductorilor drepți de secțiune dreptunghiulară, formula este mai complicată.

Datorită fenomenului descris mai înainte, la frecvențe mari, cea mai mare parte din secțiunea plină a unui conductor ar rămîne efectiv neutilizată. De aceea, rezistoarele utilizate în astfel de cazuri se realizează cu *secțiune tubulară* în cazul conductorilor drepți, avînd grosimea peretelui egală cu adîncimea de pătrundere respectivă δ, iar în cazul conductorilor înfășurați în bobinaje se preferă secțiunea dreptunghiulară cu dimensiunea radială δ, aplicîndu-se în acest caz tot relația (6.9).

În cazul conductorilor utilizați la frecvența industrială de 50 Hz interesează în special *creșterea pierderilor de energie*, datorită efectului pelicular. În adevăr, acest efect echivalează cu o reducere a secțiunii efective a conductorului străbătut de curentul alternativ și deci cu *mărirea rezistenței* acestuia. Însă, mărirea rezistenței la un același curent trecut prin rezistor, corespunde la o creștere a pierderii de energie (de putere) în el.

În practică, se definește de aceea un coeficient de creștere al rezistenței prin efect pelicular k_p după formula:

$$k_p = \frac{R_a}{R} \tag{6.10}$$

în care R_a este rezistența în curent alternativ, denumită încă și *rezistență activă*, iar R rezistența în curent continuu, ambele referitoare la un același rezistor.

În cazul *conductorilor de secțiune plină, circulară*, cînd adîncimea de pătrundere δ scade, crește k_p și anume variind direct cu frecvența și cu permeabilitatea magnetică μ a conductorului (rezistorului) și invers cu rezistivitatea sa ρ.

De asemenea, întrucît din relația (6.9) rezultă că δ nu depinde de dimensiunile conductorului, k_p va fi cu atît mai mare, cu cît secțiunea conductorului plin va fi mai mare.

O influență mai mică o are *încălzirea* conductorilor, care mărește rezistivitatea ρ și deci micșorează coeficientul k_p.

Se demonstrează că într-un calcul simplificat, k_p se poate deduce din relația:

$$k_p = 1 + \frac{\varepsilon^4}{3}, \tag{6.11}$$

în care pentru conductori plini, de secțiune circulară ε corespunde expresiei:

$$\varepsilon = \frac{d}{2}\sqrt{\frac{\pi f \mu}{\rho}}, \tag{6.12}$$

in care, la rindul lor:

d este diametrul conductorului, în cm;

f — frecvența curentului alternativ, în Hz;

μ — permeabilitatea magnetică a materialului conductorului;

ρ — rezistivitatea conductorului, în $\Omega \cdot \frac{mm^2}{m}$.

Întrucît însă în practică diametrul se măsoară în mm, iar permeabilitatea materialelor pentru conductori se ia egală cu unitatea, expresia parametrului ε devine:

$$\varepsilon = \frac{d}{20}\sqrt{\frac{\pi f}{\rho}}, \tag{6.12}$$

în care notațiile au aceeași semnificație ca în formula (6.12), cu excepția diametrului care se exprimă în mm.

În fig. 3 s-a reprezentat curba de variație a coeficientului k_p pentru un conductor rotund (de secțiune circulară) plin, în funcție de parametrul ε.

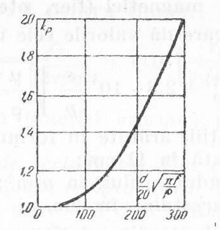


Fig. 3.—Coeficientul k_p calculat pentru un singur conductor plin rotund din material nemagnetic, în funcție de parametrul ε.

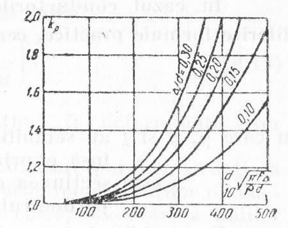


Fig. 4. — Coeficientul k_p calculat pentru conductori tubulari din material nemagnetic în funcție de parametrul ε'.

În cazul utilizării *conductorilor tubulari*, coeficientul k_p se poate scrie la fel ca în relația (6.11); dar în acest caz parametrul ε are valoarea:

$$\varepsilon' = \frac{d}{10}\sqrt{\frac{\pi f}{\rho}\cdot\frac{\Delta}{d}}, \tag{6.13}$$

în care: Δ este grosimea tubului, în mm;

d — diametrul exterior al conductorului, în mm.

Celelalte notații sînt aceleași ca și în formula (6.12).

Curbele de variație $k_p = f(\varepsilon')$, pentru diferite valori ale raportului $\frac{\Delta}{d}$, sint reprezentate în fig. 4.

În sfîrşit, pentru *barele de secţiune dreptunghiulară*, coeficientul k_p se poate calcula folosind tabela 1, în funcţie de raportul, înălţimea barei h şi lăţimea ei b:

$$\varepsilon'' = \frac{fs}{4\rho \cdot 10^5}, \qquad (6.14)$$

în care $s = b \cdot h$ [mm²] iar celelalte notaţii corespund celor din relaţia (6.12).

Tabela 1. Coeficientul k_p pentru conductori de secţiune dreptunghiulară, cu diferite rapoarte între înălţime şi lăţime

$\frac{h}{b}$	parametrul ε''											
	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
1:1	1,18	1,36	1,55	1,74	1,93	2,1	2,28	2,46	2,68	2,84	3,02	3,33
2:1	1,13	1,30	1,49	1,67	1,84	2,03	2,21	2,40	2,58	2,77	2,96	3,13
4:1	1,12	1,28	1,38	1,49	1,58	1,78	1,94	2,10	2,24	2,39	2,56	2,70
6:1	—	1,26	1,36	1,46	1,57	1,68	1,79	1,90	2,09	2,20	2,36	2,54
8:1	—	—	1,34	1,43	1,51	1,60	1,70	1,79	1,90	2,04	2,20	2,37
12:1	—	—	—	1,40	1,48	1,56	1,63	1,71	1,79	1,87	1,97	2,06

În cazul *conductorilor din materiale magnetice*, permeabilitatea magnetică μ este apreciabil mai mare decît unitatea şi deci k_p ia valori foarte mari şi variază invers cu valoarea eficace a curentului alternativ.

În cazul conductorilor magnetici (fier, oţel), coeficientul k_p rezultă din diferite formule practice, cea care dă valorile cele mai apropiate de realitate fiind:

$$k_p = 2{,}8 \cdot 10^4 \frac{s}{p} \sqrt{\frac{\mu}{\rho} f}, \qquad (6.15)$$

în care μ, ρ şi f au semnificaţiile arătate în formula (6.12), rezistivitatea ρ fiind însă exprimată în $\Omega \cdot$cm;
s este secţiunea conductorului, în mm²;
p — perimetrul acestuia, în cm.

Permeabilitatea se calculează din relaţia cunoscută:

$$\mu = \frac{B}{H}, \qquad (6.16)$$

în care B este inducţia magnetică în conductor, iar H cîmpul magnetic, exprimat prin relaţia:

$$H = \frac{0{,}4\,\pi I}{2\pi r} = \frac{0{,}2\,I}{r}, \qquad (6.17)$$

I fiind valoarea eficace a curentului alternativ, iar r raza conductorului.

Rezultă astfel dependenţa coeficientului k_p de curentul care străbate conductorul (rezistorul) considerat.

ι) *Variaţia rezistenţei conductorilor în fenomene tranzitorii.* Fenomenele tranzitorii în curent continuu sau alternativ, determinînd variaţii importante ale cîmpului magnetic în jurul conductorilor, de scurtă durată şi cu caracter aperiodic, provoacă şi ele fenomene de *mărire aparentă a rezistenţei conductorilor*, analoge celor datorite variaţiei periodice a cîmpului magnetic în care sînt aşezaţi conductorii.

Soluţia problemei determinării rezistenţei efective a conductorilor depinde de legea de variaţie în timp a cîmpului electric, care determină în definitiv repartiţia liniilor de curent în conductori. Această repartiţie este în general cunoscută în cazul undelor călătoare cu frunte abruptă, atît în situaţia aplatizării frunţii, cît şi pentru spatele mai lung al undelor călătoare.

Problema mai complicată a *fenomenelor de şoc*, în care variaţia cîmpului cu timpul poate da valori oarecari ale curentului, a fost studiată la noi de prof. R. Răduleţ, A. Avramescu şi E. Constantinescu*).

Determinarea coeficientului k_p în cazurile expuse în aliniatele precedente este laborioasă.

După A. Avramescu, în cazul aplicării bruşte a cîmpului pentru un timp foarte scurt t, se poate utiliza într-o primă aproximaţie relaţia:

$$k_p = \frac{R_e}{R} = \frac{r_e}{\sqrt{4\pi at}}, \qquad (6.18)$$

în care: R_e este rezistenţa efectivă a conductorului, în timpul fenomenului tranzitoriu;
R — rezistenţa aceluiaşi conductor în curent continuu;
r_e — raza exterioară a conductorului;
$a = \frac{\rho}{4\pi\mu}$, în care ρ este rezistivitatea şi μ permeabilitatea magnetică a materialului din care este confecţionat conductorul;
t — timpul în care se produce fenomenul tranzitoriu aperiodic.

Într-o a doua aproximaţie, pentru o variaţie bruscă a cîmpului, coeficientul de creştere al rezistenţei devine şi pentru timpuri mai lungi:

$$k_p = \frac{R_e}{R} = \frac{r_e}{\sqrt{4\pi at}} + \operatorname{erfc}\left(\frac{r_e}{\sqrt{4\pi at}}\right), \qquad (6.19)$$

funcţiunea erfc (complimentarea funcţiei erorilor) putînd fi determinată din tabele.

ϰ) *Efectul de apropiere (de vecinătate).* Doi conductori paraleli situaţi la o distanţă mică între ei se influenţează reciproc, prin deformarea cîmpurilor magnetice în spaţiul dintre ei, ceea ce provoacă o deformare corespunzătoare a liniilor de curent, aceasta echivalînd cu o reducere a secţiunii efectiv parcurse de aceleaşi linii respectiv cu o mărire a rezistenţei conductorilor.

În cazul a doi conductori paraleli parcurşi de curenţi de sens contrar, liniile de curent se concentrează în partea dinspre conductorul vecin, iar cînd conductorii sînt parcurşi de curenţi de acelaşi sens, concentrarea se face în partea opusă.

Şi în acest caz se defineşte raportul între rezistenţa efectivă în curent alternativ, influenţată de efectul de apropiere şi rezistenţa în curent continuu, sub forma unui coeficient k_a.

Acesta este funcţie atît de raportul $\sqrt{\frac{f}{R_1}}$ (în care R_1 este rezistenţa a 100 metri din conductorul considerat) cît şi de distanţa a între conductori. La o aceeaşi

*) R. Răduleţ — Bull. Math. Phys. Ec. Politechn. Bucureşti, vol 9, pag. 95, 1937—39.
A. Avramescu — Beiträge zur Erwärmungsberechnung elektrischer Leiter, Teză de abilitare la Politechnica din Dresda, 1943, Imprimeria Naţională, Bucureşti 1944.
A. Avramescu — Bul. Ştiinţific Secţ. Ştiinţe Tehn. Chim. Academia R.P.R. Tom IV, Nr. 3—4, p. 225, 1952.
E. Constantinescu — Bul. Ştiinţific Secţ. Ştiinţe Tehn. Chim. Academia R.P.R. Tom IV, Nr. 3—4 p. 225, 1952.

valoare pentru frecvență, rezistivitate și secțiune a conductorilor, se arată că există inegalitatea:

$$k_a < k_p. \qquad (6.20)$$

Pe de altă parte, k_a crește cînd scade a, dar mai încet decît variația lui f.

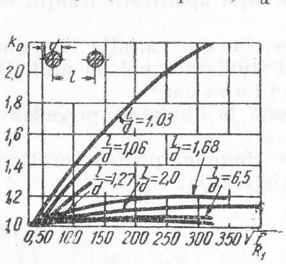


Fig. 5. — Variația cifrei k_a funcție de parametrul $\sqrt{f/R_1}$ pentru doi conductori rotunzi paraleli, la distanța a între ei.

În fig. 5 este arătată variația coeficientului k_a cu parametrul $\sqrt{\frac{f}{R_1}}$ pentru doi conductori rotunzi (de secțiune circulară), masivi (plini), situați la distanța a între ei.

În cazul particular al conductorilor de cupru parcurși de curenți de sens contrar, la frecvența de 50 Hz și la diferite diametre, rezultă valorile pentru k_a cuprinse în tabela 2.

La diametre mai mici decît cele din tabelă, respectiv la diametrele mai frecvent utilizate în practică, se poate lua pentru curent trifazat $k_a \cong 1$.

În fig. 6 și 7 s-au reprezentat curbele de variație a coeficientului k_a în cazul conductorilor dreptunghiulari de secțiune $b \cdot h$, dispuși pe lat și pe muchie.

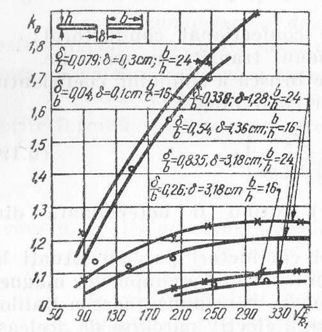


Fig. 6. — Cifra k_a funcție de $\sqrt{f/R_i}$, pentru doi conductori dreptunghiulari pe lat.

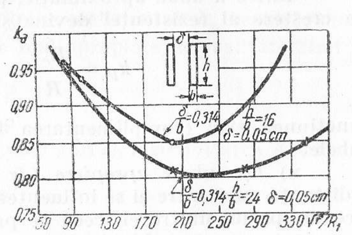


Fig. 7. — Idem, pe muchie.

Tabela 2. Coeficientul k_a pentru doi conductori, din cupru paraleli și rotunzi, la frecvența 50 Hz, parcurși de curenți contrari

Diametrul conductorului, mm	Distanța între axele conductorilor (a), mm							
	25	50	75	100	125	150	175	200
25	1,20	1,05	1,02	1,01	1,00	—	—	—
50	—	1,50	1,20	1,09	1,07	1,05	1,03	1,01
75	—	—	1,80	1,40	1,14	1,10	1,08	1,05

7. Variația rezistivității și rezistenței în cazul unor anumiți conductori.

α) Rezistența se mai poate mări cu timpul foarte mult la *contacte* din cauza *oxidării acestora*, mai ales în cazul contactelor amovibile ale aparatelor de conectare și în special în stare deschisă. Se remediază prin ungerea periodică a acestora. Detalii se găsesc în capitolul III « *Aparate de conectare* ».

β) În afara semiconductorilor solizi care din punct de vedere al rezistivității se găsesc la limita inferioară înspre conductori, avînd ca și aceștia coeficienți de temperatură pozitivi (cazul aliajelor rezistive, cu excepția constantanului, la care $\alpha = 0{,}000\,03\ [°C]^{-1}$) se mai deosebesc:

— T e r m i s t o a r e l e, la care rezistența variază neliniar cu temperatura, coeficientul de temperatură fiind în general negativ; deci rezistența acestora scade cînd crește curentul, după cum s-a mai arătat la § 4 — η al acestui subcapitol. La limita inferioară a rezistivității, pentru materialele din această categorie stau compușii carbonului, cu $\rho = 100 \ldots 1\,000\,\Omega \cdot \frac{mm^2}{m}$ și coeficient de temperatură foarte mic, negativ ($\alpha = -0{,}000\,3 \ldots -0{,}008\ [°C]^{-1}$). Sînt și termistoare cu coeficient de temperatură pozitiv.

— V a r i s t o a r e l e, la care relația între tensiune și curent se definește prin:

$$I = KU^n, \qquad (7.1)$$

cu $n = 4{,}5 \ldots 6$, (fig. 8), fiind ușor de observat că în acest caz,

$$R = \frac{dU}{dI}$$

scade foarte repede, cînd U crește.

În capitolul « *Materiale Electrotehnice* » și în subcapitolul « *Aparate de protecție contra supratensiunilor* » se dau detalii în legătură cu materialele ce intră în această categorie și au utilizarea lor în descărcătoarele de protecție contra supratensiunilor.

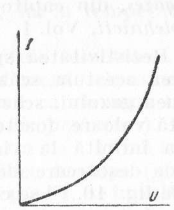


Fig. 8. — Curba $I = f(U)$ la un varistor.

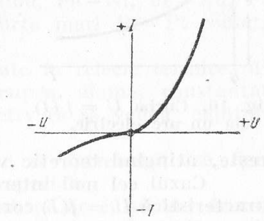


Fig. 9. — Curba $I = f(U)$ la redresoare cu semiconductori.

R e d r e s o a r e d i n s e m i c o n d u c t o r i. La aceste redresoare căderea de tensiune este localizată în stratul limită dintre un disc metalic și unul semiconductor (între cupru și protoxid de cupru, sau între oțel și seleniu, respectiv alamă și sulfură de cupru), rezistența fiind diferită după cum curentul este de sens pozitiv sau negativ.

Curba reprezentativă a legii $I = f(U)$ în acest caz fiind cea din fig. 9, este ușor de observat că pentru alternanțele pozitive ale curentului alternativ, $R = \frac{dU}{dI}$ scade foarte repede cînd tensiunea aplicată rezistenței respective crește, în timp ce pentru sensul negativ $\frac{dU}{dI}$ crește foarte repede cu U, nelăsînd practic să treacă curentul în acest sens.

Aceleași elemente alcătuite din semiconductori situați între două metale, se întrebuințează în *celulele fotoelectrice*, electronii trecînd prin semiconductor sub efectul razelor luminoase. (A se vedea capitolul « *Materiale electrotehnice*, iar pentru redresoare capitolul « *Mutatoare* »).

γ) *Semiconductorii lichizi*, sînt de trei categorii.

— E l e c t r o l i ţ i i d i n p i l e, a c u m u l a t o a r e ş i a p a r a t e d e e l e c t r o l i z ă, în care trecerea curentului este însoţită de o deplasare a materiei între cei doi electrozi mărginind electrolitul. Rezistivitatea lor variază foarte accentuat cu temperatura, după legea:

$$\rho = ke^{\frac{a}{\theta}}, \tag{7.2}$$

în care k şi a sînt constante ce se determină prin experienţă.

— E l e c t r o l i ţ i i d i n r e z i s t e n ţ e l e l i c h i d e, parcurşi în general de curenţi alternativi, care nu produc fenomene de electroliză. Sînt de obicei soluţii de sodă (carbonat de sodiu) în apă, rezistivitatea variind: cu concentraţia soluţiei (ρ scade cînd creşte concentraţia); cu temperatura (ρ scade cînd creşte temperatura); cu densitatea de curent (ρ scade cînd creşte densitatea, variaţia fiind însă puţin sensibilă).

— L i c h i d e l e p o l a r e, în care conductivitatea electrică se datoreşte disocierii lichidului la trecerea curentului şi nu adaosurilor, ca la lichidele din clasa precedentă. În această categorie intră acetona, alcoolul etilic şi apa distilată, cu rezistivităţi cuprinse între $1{,}4 \cdot 10$ şi $2{,}5 \cdot 10^5\ \Omega \cdot \text{cm}$, variind invers proporţional cu constanta dielectrică a lichidului. (A se vedea capitolul « *Materiale Electrotehnice*», cum şi subcapitolul F, « *Noţiuni de Electrochimie teoretică* », din « *Bazele teoretice şi fizice ale Electrotehnicii*, Vol. I).

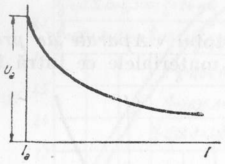


Fig. 10. Curba $U = f(I)$ la un arc electric.

δ) *Semiconductorii gazoşi* sînt de fapt diferitele gaze sau aerul, ionizate prin *descărcări electrice*, conform detaliilor arătate în subcapitolul H, « *Fenomene electrice în vid şi gaze*», din capitolul « *Bazele teoretice şi fizice ale Electrotehnicii*, Vol. I.

Rezistivitatea spaţiului gazos depinde atît de ionizarea acestuia, scăzînd cînd aceasta creşte, cît şi de presiunea gazului, scăzînd odată cu presiunea pînă la o anumită valoare foarte redusă a acesteia, după care creşte, atingînd teoretic valoarea infinită la vid, care este un izolant perfect.

Cazul cel mai interesant de descărcare electrică este *arcul electric*, a cărui caracteristică $U = f(I)$ corespunde fig. 10. El se comportă ca o rezistenţă negativă şi constituie un *receptor deformant*, în care se produce o creştere a impedanţei aparente. (A se vedea subcapitolul. T, « *Regimul deformant*» din « *Bazele teoretice şi fizice ale Electrotehnicii* » şi capitolul « *Aparate Electrice*»).

d) Construcţia şi utilizările rezistoarelor

8. **Materiale pentru rezistoare şi forme de realizare.** α) Materialele din care se realizează rezistoarele se împart în materiale *solide*, *lichide* şi *gazoase*, care din punct de vedere al rezistivităţii lor electrice pot fi *conductori* sau *semiconductori*.

β) *Conductorii* sînt de cele mai multe ori *metalici*, respectiv din cupru, aluminiu, magneziu, zinc, oţel şi compuşii lor; apoi, pentru rezistoare cu valori mai mari ale rezistivităţii, la limita inferioară din acest punct de vedere, a semiconductorilor, aliaje din oţel crom, din oţel crom-nichel, utilizabile la temperaturi pînă la 1 300°C sau aliaje cu crom, nichel, aluminiu şi cobalt, din care fac parte sorturile denumite Kantal şi Cekas, utilizate la 1 000—1 200°C.

— Fierul se utilizează în formă de elemente de rezistoare din fontă, la temperaturi de ordinul de 500°C.

— Pentru temperaturile dela 600 la 500°C în jos, la care rezistoarele se aduc la culoarea roşu închis, se utilizează aliaje de Cu, cu Sn, Ni, Mn, Zn, Mg, etc., care poartă diferite denumiri consacrate în practică: manganină, izobelină, terlo, apoi constantan şi novoconstantan, nichelin, reotan, argint nou (maillechort), rezistin etc.

— Pentru temperaturi peste 1 300°C (cu conductorii aduşi la incandescenţă) se întrebuinţează în rezistoare molibdenul, platina, wolframul (tungstenul).

— Conductorii metalici se utilizează în sîrme şi bare izolate sau neizolate, drepte sau înfăşurate în bobine, respectiv dispuse în elice (înfăşurări cilindrice). Pentru conductorii liniilor aeriene sîrmele se înfăşoară în funii; cele de aluminiu, pentru mărirea rezistenţei la tracţiune sînt alcătuite din fire prevăzute cu inimă de oţel (funie de oţel-aluminiu). În aceşti conductori se mai întrebuinţează în mod excepţional metalul aldrey (aliaj de aluminiu-magneziu-siliciu) şi funiile de bronz.

— Aliajele rezistive se întrebuinţează în cele mai felurite forme: bare, ţevi şi benzi, drepte sau răsucite în spirale, elici, meandre, etc.

— Metalele nobile ca molibdenul, platina, wolframul se folosesc de cele mai multe ori în fire; ultimul în filamente, pentru lămpi cu incandescenţă (cu adaos de oxid de thoriu).

— În unele cazuri, mai rare, metalele se întrebuinţează în formă de plăci (cupru, alamă, bronz, aluminiu), de piese diverse, (cupru, alamă, bronz, aliaje de aluminiu), de piese de contact (cupru, alamă, tombac, bronz, argint), sau pastile pentru asemenea piese (argint, aur, cadmiu, platină, wolfram, iridiu). Totodată se execută piese de contact prin presare şi sinterizare a pulberilor metalice de W, Mo, Ni, Cd etc., cu pulberi de Cu şi aluminiu.

— În sfîrşit, piese din Fe—Ni—Cr cu Mn şi de W pentru armăturile bujiilor şi în benzi pentru termocupluri din constantan-manganină, Fe—Ni, Fe—Au, Fe-constantan, Cr—Ni—constantan, iar la temperaturi foarte mari Pt—Pt rodiată, sau Ni—Ni-Cr.

O formă specială o constituie bimetalele, utilizate în releele termice, din metal invar sau feronichel ca element termoinert şi cupru, alamă, constantan, Ni, Fe, sau aliaje cu metal Monel ca element termoactiv (a se vedea capitolul « *Aparate de conectare* » şi « *Relee de protecţie* »).

— C a m e t a l î n s t a r e l i c h i d ă, nu se întrebuinţează decît mercurul, în contacte fixe, cuprinse în cupe (godeuri) speciale.

— Î n s t a r e d e v a p o r i, se întrebuinţează tot mercurul, în redresoarele statice (v. Vol. III Cap. II « *Mutatoare* ») şi în lămpi speciale, şi vaporii de sodiu.

γ) *Semiconductorii solizi*, se folosesc în următoarele compoziţii şi forme:

— S e m i c o n d u c t o r i c e r a m i c i (compuşi din siliciu-carbid) utilizaţi de obicei în bare din care se citează *silita* şi *globarul*, utilizabile pînă la 1 450 . . . 1 500°C; apoi *tirita* şi *vilitul*, rezistenţe dependente de tensiune (varistoare) utilizate în plăci sau discuri.

— S e m i c o n d u c t o r i i c a r b o n i c i, în formă de bare, plăci şi discuri, cuprinzînd diferite piese din cărbune de retortă, din cărbune praf aglomerat, din cocs sau grafit aglomerat, cum şi din combinaţiile: *cryptol*: un amestec de carborundum, argilă şi grafit; *silund*: un produs de cărbune la temperaturi înalte, pe care se formează un strat superficial de siliciu-carbid.

— S e m i c o n d u c t o r i p e n t r u t e r m i s t o a r e: bioxid de uraniu, sulfură de argint, bioxid de titan.

— S e m i c o n d u c t o r i p e n t r u s t r a t u r i d e o p r i r e c u e f e c t d e r e d r e s a r e s a u c e l u l e f o t o e l e c t r i c e: protoxidul de cupru, seleniul, sulfura de cupru, sulfura de thaliu.

— Cristalele semiconductoare de germaniu servesc la amplificarea oscilaţiilor electrice.

δ) *Semiconductorii lichizi*, cuprind diferiţii electroliţi din pile, acidul sulfuric sau hidratul de potasiu din bateriile de acumulatoare, soluţiile de sodă şi apa distilată, pentru rezistoare lichide.

ε) *Semiconductorii gazoşi*, sînt aerul rarificat, argonul, neonul, heliul, cu sau fără adaos de azot şi CO_2, în tuburi de toate formele şi lungimile, pentru descărcări electrice în gaze.

9. **Mărimi uzuale ale rezistenţelor diferitelor rezistoare** α) *Valorile mici*, exprimate în fracţiuni de ohmi (maximum cîţiva ohmi), le posedă (pe kilometru) conductorii circuitelor prin care se transmite energie electrică.

β) Acelaşi ordin de mărime se găseşte la rezistenţa electrică rotorică a generatoarelor şi motoarelor de curent continuu, la rezistenţele statorice şi rotorice ale motoarelor asincrone trifazate, cum şi în legăturile şi contactele aparatelor electrice de conectare.

γ) Mai departe, se găsesc valori de la cîţiva ohmi pînă la cîteva sute de ohmi, în diferite rezistoare întrebuinţate atît în rezistenţele variabile (reostatele de pornire şi de excitaţie ale motoarelor şi generatoarelor electrice), cît şi în rezistoarele electrotermice.

δ) De asemenea există elemente cu valori variind între fracţiuni de ohmi şi zeci şi sute de mii de ohmi, în cutiile de rezistenţe şi reostatele întrebuinţate în scopuri de măsurători, în laboratoarele electrice. Ampermetrele şi bobinele de intensitate ale wattmetrelor şi contoarelor electrice au rezistenţe de fracţiuni de ohmi, iar bobinele de tensiune ale acestor aparate şi cele ale voltmetrelor, au valori de mii de ohmi.

ε) Rezistoarele întrebuinţate ca elemente de circuit se limitează în general la valori de sute de mii de ohmi, cele mai mari găsindu-se în tuburile cu descărcări în gaze, la care se aplică de altfel tensiuni înalte. Rezistenţele de ordinul megohmilor intră în categoria *izolanţilor* (rezistenţe de izolaţie), care după cum s-a arătat, se leagă în serie cu alte elemente de circuit numai în compunerea condensatoarelor.

10. **Exemple numerice de rezistenţe electrice (la + 20°C)**

— Rezistenţa statorului unui motor asincron de 2,2 kW, 3 000 rot/min pe fază (rotorul în scurtcircuit)	1,66 Ω
— Idem, a unui motor asincron de 18 kW, 750 rot/min	0,148 Ω
— Idem, a rotorului aceluiaşi motor de 18 kW, pe fază	0,050 Ω
— Rezistenţa statorului unui motor asincron de 185 kW, 1 000 rot/min, pe fază	0,0165 Ω
— Idem, a rotorului aceluiaşi motor	0,0375 Ω
— Rezistenţa unei linii de transport de energie de înaltă tensiune, cu conductori de oţel aluminiu cu 150 mm² aluminiu, 75 km, pe fază	16 Ω

Pentru obiectele enumerate pînă aici s-a considerat numai *rezistenţa electrică* fără a ţine seamă de *reactanţă*, care joacă totuşi un rol important, fiind în general mai mare decît valoarea rezistenţei, la linii aeriene.

— Rezistenţa unui cablu subteran trifazat de 3×95 mm² cupru, de 8 km, pe fază	1 Ω
— Rezistenţa unui voltmetru portativ de 130 V	1 100 Ω
— Rezistenţa unui ampermetru portativ de 1 A	0,13 Ω
— Rezistenţa unei bobine de tensiune, pentru un wattmetru 120 V	4000 Ω
— Rezistenţa maximă a unei cutii de rezistenţă normală de laborator	10000 Ω
— Rezistenţa unei bare de manganin nou, de 1 m lungime şi 0,50 cm² secţiune	400 Ω
— Rezistenţa unui electrod din cărbune amorf pentru cărbune cu arc, de 2,50 m lungime şi 200 mm ⌀	6,4 Ω
— Rezistenţă lichidă (soluţie 3 % sodă de rufe), între 2 electrozi metalici de 1×1 m², la distanţă de 4 m între ei	0,02 Ω
— Idem, avînd ca electrolit apă distilată	0,78 Ω

B. Bobine de reactanţă (reactoare)

11. **Generalităţi.** În compunerea instalaţiilor de curenţi intenşi intră, uneori, ca elemente constitutive ale circuitelor, bobine fără sau cu miez de fier.

În subcapitolul de faţă, se vor examina bobinele al căror rol este limitarea curenţilor de scurtcircuit. Ele sînt denumite bobine de reactanţă, iar uneori reactoare. Asemenea bobine sînt în general fără miez.

Bobinele cu miez îşi găsesc utilizare în deosebi în construcţia electromagneţilor şi vor fi examinate în subcapitolul D.

12. **Necesitatea limitării curenţilor de scurtcircuit.** În urma interconectării centralelor, în sistemele energetice mari, efectele mecanice şi termice ale curenţilor de scurtcircuit pot periclita grav instalaţiile din staţii şi reţele. Din calculele de scurtcircuit, efectuate analitic, grafic sau experimental (pe modele de reţea) se pot obţine valorile curenţilor iniţiali şi permanenţi de scurtcircuit. Rezistenţa unei instalaţii se dimensionează în funcţie de aceste valori.

În multe cazuri de extinderi de centrale sau de interconectări noi, instalaţiile existente trebuie ferite de curenţii de scurtcircuit care depăşesc capacitatea de rupere a întreruptoarelor şi rezistenţa mecanică a aparatelor şi a construcţiilor. În aceste cazuri se impune instalarea de bobine de reactanţă pentru a reduce puterile de scurtcircuit sub limita capacităţii întreruptoarelor şi pentru a evita deteriorarea instalaţiilor prin efectele mecanice şi termice ale curenţilor de scurtcircuit. Bobinele de scurtcircuit preluînd, la supraintensităţi, o mare parte a căderii de tensiune, permit păstrarea tensiunii în instalaţiile adiacente cu scăderi neînsemnate şi asigură continuarea funcţionării nealterate a alimentării în toate aceste instalaţii.

Scopul bobinelor de reactanţă în circuitele electrice este deci reducerea curenţilor de scurtcircuit şi evitarea unor căderi de tensiune prea mari în circuitele paralele, alimentate din aceleaşi surse. Se reduc atît curenţii iniţiali, cît şi cei staţionari de scurtcircuit, astfel încît atît solicitările dinamice cît şi cele termice scad în mod considerabil la scurtcircuite în aval de bobinele de reactanţă. Evitarea unei căderi de tensiune se impune, deoarece la o tensiune de 67 % din cea nominală, motoarele sincrone în sarcină ies din sincronism, iar la 63 % decroşează şi cele asincrone.

Bobinele au, în general, o reactanţă mare la o rezistenţă relativ mică, în consecinţă pierderile watate sînt mici în regim permanent.

Valorile caracteristice ale unei bobine de reactanţă sînt puterea reactivă Q în kVA, curentul nominal I în A, tensiunea de fază U_f în V, reactanţa X în Ω şi reactanţa relativă x în %.

Reactanţa relativă este:

$$x = \frac{\Delta U}{U_f} 100 = \frac{IX}{U_f} 100 \quad [\%], \tag{12.1}$$

unde: ΔU este căderea de tensiune la curentul şi tensiunea nominală, în V;
U_f — tensiunea circuitului, în V.

În reţele trifazate reactanţa relativă este:

$$x = IX \frac{\sqrt{3}}{U} 100 \quad [\%], \tag{12.2}$$

unde: $X = \omega L$ este reactanţa bobinei în Ω;
U — tensiunea între faze, în V.

Puterea reactivă nominală fiind:

$$Q_n = I U_f,$$

iar puterea reactivă în caz de scurtcircuit,

$$Q_{sc} = \frac{U_f^2}{X},$$

reactanța procentuală se mai poate exprima:

$$x = \frac{IX}{U_f} 100 = \frac{Q_n}{Q_{sc}} 100 \quad [\%]. \qquad (12.3)$$

Reactanțele se montează fie în serie cu generatoare de construcție veche și cu reactanță sincronă relativ mică, fie la centrale mari, în lungul barelor, spre a separa barele în porțiuni a căror tensiune nu scade în mod egal la scurtcircuite, fie, în fine, pe plecări (feederi și linii) dela barele unor centrale mari în rețele, ale căror aparate de conectare au o capacitate redusă de rezistență și de rupere.

Reactanțele de bare se dimensionează la 5—15 % cădere de tensiune, în funcție de putere și împart barele în secțiuni cu o putere maximă de circa 50 MVA, ceeace înseamnă că puterea de rupere maximă se limitează la circa 2500 MVA. La bare duble, dispoziția reactanțelor poate să devină complicată.

Generatoare foarte mari se execută cu două înfășurări, evitîndu-se reactanțe în serie cu barele, secțiunile barelor separîndu-se prin reactanțele înfășurăriior generatorului, care se leagă cu o înfășurare la o secțiune de bare, iar cu cealaltă, la secțiunea adiacentă. În astfel de cazuri, puterea întreruptoarelor de bară se poate reduce la jumătate. Curenții de scurtcircuit nu pot reduce stabilitatea generatorului, deoarece cele două înfășurări pe care curenții de scurtcircuit le parcurg în sens invers au același flux magnetic.

13. Efectele reactanțelor în circuite. *Funcțiunile principale* ale bobinelor limitatoare de curent se clasifică astfel:

α) reduc intensitatea curenților cari curg spre un scurtcircuit și protejează aparatele și instalațiile de efectele mecanice și termice ale acestor curenți;

β) reduc efectele căderii de tensiune care are loc la scurtcircuite;

γ) localizează și limitează efectele scurtcircuitelor;

δ) reduc sarcina de rupere a întreruptoarelor la limite suportabile din punct de vedere economic.

Reducerea curenților de scurtcircuit este cu atît mai esențială cu cît puterea barelor este mai mare în raport cu puterea circuitului (feeder) protejat.

Un reactor cu o reactanță relativă de 4 % limitează intensitatea eficace a curentului de scurtcircuit inițial simetric la de 25 ori valoarea eficace a curentului nominal, indiferent de puterea stației. În schimb fără reactor curentul de scurtcircuit inițial poate crește la de 100 ori curentul nominal, dacă puterea stației se mărește în mod continuu.

În schimb reactoarele au o influență mult mai redusă asupra curentului de scurtcircuit staționar, din cauză că aici generatoarele intervin cu reactanța lor sincronă, mult mai mare decît reactanța de scăpări care intervine în faza inițială. Valoarea reactanței introdusă suplimentar are, în raport cu reactanța sincronă a surselor, o influență mult mai mică și în consecință reducerea curenților de scurtcircuit staționar întrece rareori 50 %.

Prin alegerea judicioasă a reactanțelor introduse în circuite paralele se poate influența repartizarea sarcinilor în astfel de circuite (de ex. pe feederi legați în paralel).

Introducerea de reactanțe în circuite de alimentare (feeder) scurte permite a se îmbunătăți selectivitatea protecției, mai ales dacă numărul întreruptoarelor dealungul circuitului este mai mare.

Efectul reactanțelor asupra căderii de tensiune în rețele este redus în regim normal din cauză că la valori normale de 0,7—0,8 ale factorului de putere a circuitului, căderea inductivă este aproape în cuadratură cu tensiunea, iar cea ohmică, perpendiculară pe ea, este foarte redusă, datorită rezistenței foarte mici a bobinei (fig. 11, *a*). În schimb la scurtcircuit curentul are o defazare mare față de tensiune și căderea inductivă în bobină consumă o parte importantă a tensiunii aplicate (fig. 11, *b*). Căderea de tensiune este proporțională cu sinusul unghiului de defazare $\Delta U = k \cdot \sin \varphi$ astfel că se anulează pentru $\cos \varphi = 1$ și este maximă pentru $\cos \varphi = 0$. Fig. 12 dă o imagine asupra căderilor de tensiune procentuale în funcție de factorul de putere pentru diferite reactanțe relative ale bobinei.

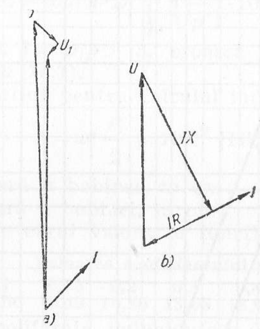


Fig. 11. — Căderea de tensiune provocată de un reactor: *a* — în regim normal; *b* — la scurtcircuit.

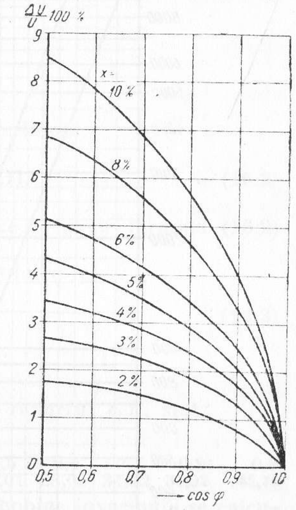


Fig. 12. — Căderea de tensiune în reactor în funcție de factorul de putere în regim normal.

14. Dimensionarea bobinelor de reactanță se face în funcție de frecvență, de intensitatea nominală, de tensiunea circuitului și de reactanța relativă procentuală.

Bobinele se dimensionează deobicei astfel încît să limiteze curenții de scurtcircuit permanenți la o valoare de 20 ori mai mare decît a curenților nominali. Bobinele trebuie să reziste cel puțin timp de 6 s, fără deteriorări, la efectul termic al acestor curenți. Ele se pot însă dimensiona și pentru durate de scurtcircuit mai mari.

Bobinele de reactanță se pot utiliza în circuite cu curenți și cu tensiuni nominale mai reduse, cît și la frecvențe diferite de cele nominale, însă în acest caz reactanța se schimbă în mod corespunzător. Dacă f_n, U_n, I_n, și X_n sînt frecvența, tensiunea, curentul și reactanța nominală și f, U, I și X sînt valorile corespunzătoare în alte condiții ale circuitului, atunci

$$X = \frac{f}{f_n} X_n = \frac{U_n}{U} X_n = \frac{I}{I_n} X_n.$$

15. Forțele mecanice în înfășurările bobinelor în aer nu sînt îngrijorătoare, dacă se iau măsurile de precauție necesare. Fiecare conductor străbătut de curent este atras de toți ceilalți. Conductorii dela capetele bobinelor sînt atrași cu forțe mari care tind să-i deflecteze spre interiorul bobinelor. Dacă acești conductori nu sînt încastrați suficient de solid, ei se îndoaie, rupînd izolația și făcînd contact cu spirele adiacente, defectînd astfel bobina.

Forțele radiale tind să lungească conductorii interiori și să comprime pe cei exteriori, rezultînd o acțiune compresivă asupra secțiunii bobinei.

Forțele axiale tind toate să comprime conductorii pe un spațiu mai redus.

Forțele mecanice se pot calcula cu o exactitate suficientă și încercările de distrugere în laborator au arătat că bobinele construite cu îngrijire sînt sigure în serviciu.

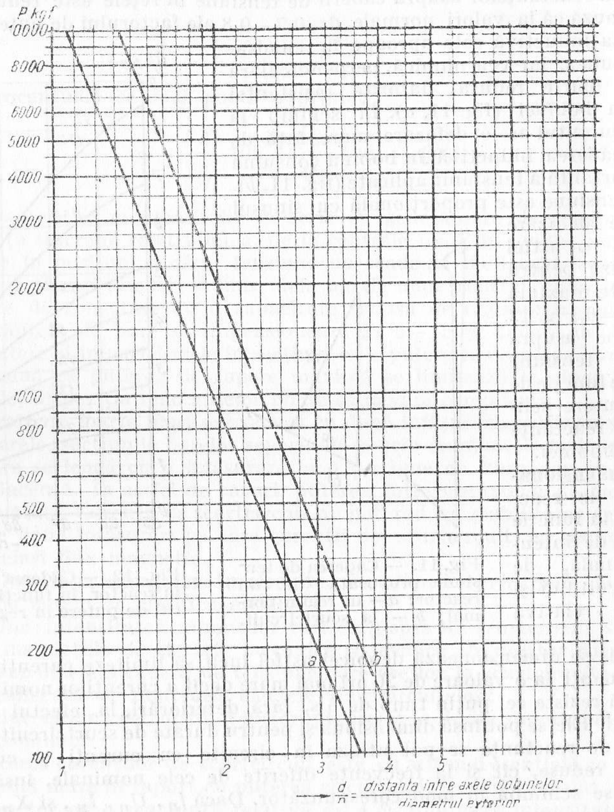


Fig. 13. — Forța între bobine normale pentru feedere:
a — bobine de fază dispuse lateral; *b* — bobine de fază suprapuse.

Forțe mecanice între bobine adiacente există din cauza cîmpurilor magnetice. Distanțele dintre bobine și rezistența izolatorilor care susțin bobinele se aleg în funcție de aceste forțe, pe baza unor calcule și a experienței în construcția bobinelor. Forțele descresc rapid dacă distanța dintre axele bobinelor depășește doi diametri exteriori (fig. 13).

16. Calculul bobinelor de reactanță. Reactanța bobinelor se calculează de obicei în funcție de dispoziția înfășurărilor. Din această valoare se deduc și forțele electrodinamice între spire și între bobinele individuale la bobine trifazate.

Se mai calculează încălzirea bobinelor în regim nominal și la scurtcircuit.

α) *Calculul reactanțelor* se bazează pe formulele cunoscute care dau reactanța unor bobine cilindrice cu secțiunea dreptunghiulară. Pentru calcule de prototipuri se pot folosi formulele precise, dar relativ complicate din literatura tehnică.

Pentru calcule aproximative se poate folosi următoarea formulă:

$$L = 10{,}5\, w^2 D \sqrt[4]{\left(\frac{D}{p}\right)^3} \cdot 10^{-9}\ [\mathrm{H}], \tag{16.1}$$

unde: L este inductanța, în H;
D — diametrul mediu al bobinei, în cm;
p — perimetrul bobinei, în cm;
w — numărul de spire.

Dacă D/p este cuprins între 0 și 1, formula mai simplă:

$$L = 10{,}5\, w^2 D \sqrt{\left(\frac{D}{p}\right)} \cdot 10^{-9}\ [\mathrm{H}], \tag{16.2}$$

dă rezultate satisfăcătoare. La $D/p > 3$, eroarea întrece 8 % cu formula (16.2) și se va calcula cu formula (16.1).

O altă formulă practică pentru calculul inductanței este:

$$L = w^2 \frac{R}{2} y\ 10^{-9}\ [\mathrm{H}], \tag{16.3}$$

unde: R este raza exterioară a bobinei, în cm;
r — raza interioară a bobinei, în cm;
y — un factor ale cărui valori, în funcție de raportul r/R, sînt:

Valoarea coeficientului y

r/R	0,00	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
y	6,97	7,72	8,56	9,49	10,86	15,65	18,97	25,01	28,09	34,12	34,92	45,74

În cazul bobinelor polifazate, inductanța a două bobine învecinate se calculează din relația:

$$L = L_1 + L_2 \pm 2\,M.$$

La bobinele suprapuse, semnul + se ia dacă polaritatea bobinelor este de același sens, iar semnul — dacă este de sens contrar.

La bobinele trifazate, bobina mijlocie are sensul de înfășurare inversat sau racordurile sînt inversate astfel încît bobinele de fază să fie supuse la eforturi de atracție către bobina mijlocie. Dacă distanța între două bobine este suficient de mare, $M < 0{,}3\, L_1$. M se calculează după formulele cunoscute și pentru transformatoare.

β) *Forțele dinamice între bobine* se pot deduce din coeficientul de inducție mutuală. Dacă I_1 și I_2 sînt intensitățile care parcurg două bobine suprapuse, forța electrodinamică dintre ele este:

$$F = -\,I_1 I_2 \frac{dM}{dx}\ [\mathrm{N}] = -\,0{,}102\, I_1 I_2 \frac{dM}{dx}\ [\mathrm{kgf}]. \tag{16.4}$$

În cazul cînd $I_1 = I_2 = I$,

$$F = -\,I^2 \frac{dM}{dx}\ [\mathrm{N}] = -\,0{,}102\, I^2 \frac{dM}{dx}\ [\mathrm{kgf}]. \tag{16.5}$$

dacă deplasarea x se exprimă în [m].

γ) *Forțele dinamice între conductorii* adiacenți se calculează cu formulele cunoscute. (A se vedea vol. I, pag. 277, § 112—114).

De fapt, trebuie să se considere acțiunea tuturor celorlalte spire asupra unui conductor. Calculul eforturilor asupra conductorilor de racord este foarte important, aceste racorduri fiind solicitate mai mult decît conductorii din înfășurări.

δ) *Incălzirea bobinei* se calculează în două etape:

Încălzirea la curent nominal în regim permanent și încălzirea suplimentară la scurtcircuit.

În regim permanent, suprafața exterioară a conductorului trebuie să transmită întreaga energie dezvoltată în conductor prin efect Lenz-Joule. Rezultă încălzirea staționară (peste temperatura ambiantă) de:

$$\theta = J^2 \frac{\rho}{\alpha} \frac{S}{P} \ [°C], \quad (16.6)$$

unde: J este densitatea de curent, în A/mm²;
ρ — rezistivitatea, în $\Omega \cdot mm^2/m$;
α — coeficientul de disipare a căldurii, în W/cm²·°C;
S — secțiunea conductorului neizolat, în cm².
P — perimetrul conductorului izolat, în cm.

În conductorii rotunzi:

$$\theta = J^2 \frac{\rho}{\alpha} \frac{d}{4} \ [°C]. \quad (16.7)$$

ε) *Incălzirea la scurtcircuit* se calculează din relația:

$$\vartheta = J^2 \frac{\rho}{\gamma c} t \ [°C], \quad (16.8)$$

unde: γ este densitatea conductorului, în g/cm³;
c — căldura specifică, în Ws/g·°C;
t — durata scurtcircuitului, în s.

Densitatea J^2 se deduce din intensitatea de scurtcircuit de durată I_d și din secțiunea conductorului. Încălzirea prin curentul inițial I_{ai} se poate lua în considerare adăugînd la timpul t, în s, valoarea:

$$\Delta t = \left(\frac{I_{ai}}{I_d}\right)^2 T, \quad (16.9)$$

unde T este constanta de timp a mașinilor (0,3 s la scurtcircuite tripolare).

La calcule mai exacte trebuie să se ia în considerație variația cu temperatura a parametrilor $\rho/\gamma c$.

Dacă bobinele au o izolație refractară de azbest, se admite o încălzire la scurtcircuit de 60 — 80°C. În caz contrar numai 40°C.

17. **Construcția bobinelor de reactanță**. Bobinele se pot executa cu izolație în aer și (la tensiuni peste 35 kV) cu izolație în ulei.

Bobinele pot fi monofazate și trifazate.

α) *Infășurarea*. Avînd în vedere cîmpul magnetic intens care înconjoară conductorii, înfășurarea se confecționează deobicei din cabluri multifilare cu fire subțiri, spre a micșora pe cît este posibil efectul pelicular și curenții turbionari (Foucault). La înfășurări cu mai multe cabluri în paralel se va căuta ca reactanța și rezistența cablurilor să fie egale, spre a evita curenții de circulație. Egalizarea se poate realiza distribuind conductorii în mod judicios în înfășurare, spre a obține lungimi și înlănțuiri cu fluxuri egale.

Conductorii bobinelor de reactanță se vor considera ca fiind *sub tensiunea de regim* a conductorilor obișnuiți ai circuitului. Izolația de azbest a conductorilor bobinei este dimensionată numai pentru tensiunea între spire. Întreaga structură a bobinei se află în general la tensiunea de fază față de pămînt.

În cele mai multe construcții, înfășurarea are straturi discoidale suprapuse, montate pe o placă sau inel de beton, susținut pe izolatori-suport. Uneori, se utilizează materiale refractare de o înaltă rezistență dielectrică pentru separarea spirelor și a straturilor. Alteori întreaga înfășurare se încastrează în beton.

Legăturile exterioare se vor apropia de bobine pe cît se poate *radial* și se vor fixa la o distanță de cel mult 30 cm de bornă. Cînd această construcție nu este posibilă se impune o fixare și consolidare specială a conexiunilor.

Bobinele de reactanță trifazate în aer se construiesc din trei bobine adiacente sau suprapuse coaxial, spre a economisi spațiu. În aceste cazuri conexiunile la faza din mijloc sînt deobicei inversate, spre a transforma rezultanta forței electromagnetice în atracție între bobine, în loc de repulsie. Forțele devin foarte mari în cazul curenților de scurtcircuit. Cînd cele trei bobine se montează în același plan, ele se dispun în triunghi, spre a se obține o simetrie între faze.

Bobinele destinate circuitelor cu tensiuni pînă la 35 kV sînt construite din fire sau cabluri izolate cu azbest, înfășurate în straturi concentrice plate sau conice, consolidate de un cadru și montate pe izolatori-suport. La tipurile curente, cadrul este format din coloane segmentiforme de beton, în care se încastrează conductorii, coloanele fiind fixate pe o placă de bază de beton.

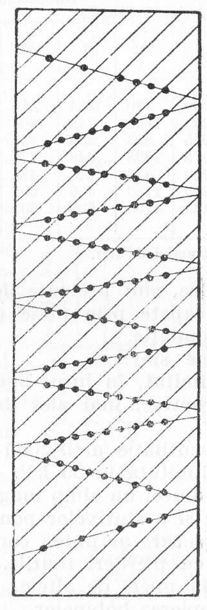


Fig. 14. — Secțiune printr-un segment de beton al unui reactor.

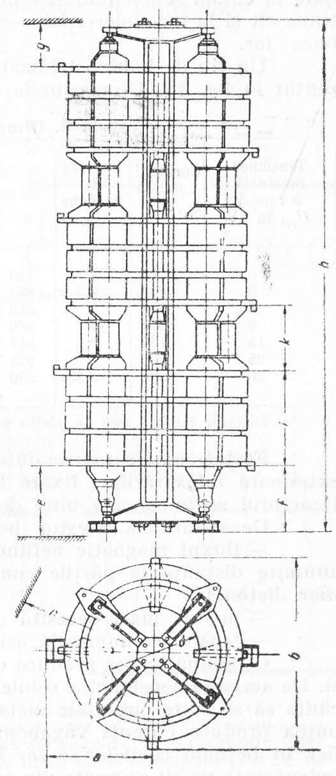


Fig. 15. — Tip de bobină de reactanță cu piese separatoare de porțelan.

Spirele se fac circulare pentrucă forțele electromagnetice radiale tind să le dea această formă.

Fig. 14 arată o secțiune printr-un segment de beton cu dispunerea firelor. Straturile sînt înclinate unul față de altul, spre a îndepărta spirele corespunzătoare ale straturilor adiacente pe măsură ce crește tensiunea între ele.

Unghiurile de înclinație sînt mai mari la capetele bobinei unde tensiunile între straturi pot să devină mai mari. Tot pentru a preîntîmpina străpungeri în cazul unor unde de supratensiune incidente primele și ultimele spire ale bobinei se dispun la distanțe mai mari unele de altele.

Reactoarele sovietice de tip RB de 6 și 10 kV aparțin acestei clase.

La alte tipuri, cadrul este construit din lemn, din ciment, azbest etc., cu piese de separare, montate una peste alta, cu plăci marginale de beton strînse împreună prin buloane dintr-un material nemagnetic. Coloanele și piesele de separare

se află sub acțiunea forțelor de compresie, datorită curenților care trec prin bobină. Cînd bobinele sînt dispuse aproape una de cealaltă, momentul de răsturnare în cursul scurtcircuitelor poate solicita anumiți izolatori-suporți atît la tracțiune cît și la încovoiere. Din această cauză, izolatorii se vor fixa în mod solid de baza lor.

Un tip de bobină trifazată avînd piese separatoare din porțelan s-a reprezentat în fig. 15. Dimensiunile corespunzătoare sînt date în tabela 3.

Tabela 3. Dimensiuni pentru bobine de reactanță

Tensiunea nominală a rețelei U_n, în kV	Curentul nominal I_n, în A	Căderea de tensiune %	Dimensiuni, în mm									
			a	b	c¹)	d	e¹)	j	g¹)	h	i	k
5	60	7	340	560	540	254	270	255	270	1767	264	240
5	850	7,5	690	1225	1200	742	600	436	600	2686	290	500
6	350	5	510	915	893	404	447	456	447	2225	200	360
6	1000	10	880	1575	1538	948	770	541	770	3135	350	600
15	100	3,5	510	900	876	424	438	433	438	2070	246	270
25	250	5	625	1210	1180	496	590	436	590	2780	354	410
30	300	6,35	580	1130	1200	500	507	537	467	3694	530	550

¹) Distanțe minime față de părțile construcției de fier.

Forțele axiale foarte puternice, sînt preluate de 4 buloane lungi din oțel, exterioare înfășurărilor, fixate la capete prin piese puternice din oțel profilat. Reactorul se ancorează bine de fundație.

Dezavantajele acestor bobine sînt:

— fluxul magnetic nefiind limitat, în jurul bobinei trebuie să se păstreze anumite distanțe la părțile constructive, mai ales dacă acestea sînt magnetice (fier beton);

— bobine mari necesită o ventilație artificială;

— tensiunea nominală este limitată la 35 kV.

O bobină în aer produce de obicei un cîmp magnetic puternic în exteriorul ei. De aceea la construcția celulelor și a stativelor pentru fixarea bobinelor se va căuta să se evite circuitele metalice care ar putea conduce fluxul magnetic și ar putea produce curenți vagabonzi cu pierderi inutile. Barele și construcțiile de fier în betonul celulelor se vor izola unele de altele. Materialele metalice vor fi îndepărtate pe cît se poate din apropierea bobinelor.

Pentru evitarea acestor dezavantaje bobinele se prevăd cu ecrane magnetice și se introduc astfel în cuve cu ulei de transformator. Ecranarea se face sau complet cu tole laminate la oarecare distanță de suprafața exterioară a bobinei sau parțial cu inele din tablă de oțel, dispuse spre a păstra un loc suficient pentru fluxul exterior al bobinei. Cînd reactorul este străbătut de curent orice flux exterior ecranului induce în acesta curenți de circulație care dau o forță magnetomotoare contrară și obligă fluxul exterior să circule între bobină și ecran. Inelele de ecran sînt fixate în exteriorul lor, unde nu există flux, cu buloane de oțel.

Izolatori de separare se vor instala cînd bobinele se dispun aproape una de alta, coaxial sau cu axe paralele. Se vor prefera dispoziții care nu necesită izolatori de fixare și de separare. În general, cînd distanța dintre axele bobinelor este mai mare decît de două ori diametrul lor exterior, izolatorii de fixare laterali nu mai sînt necesari.

18. Derivații de supratensiune pentru bobine de reactanță. Dacă o bobină de reactanță este plasată într-un circuit expus la supratensiuni (unde de impuls), ea de vine un punct de reflexie și poate intra în oscilații cu alte elemente ale circui-

tului, în funcție de caracteristica undei și a circuitului. Oscilațiile de tensiune care se produc sînt rareori periculoase în circuite cu tensiuni sub 10 kV.

Rezistențe neinductive și descărcătoare în derivație se leagă uneori la bornele bobinelor de reactanță spre a absorbi energia undelor cu pantă mare și a evita reflexii de unde. Ele se folosesc mai ales la bobinele în legătură cu linii aeriene supuse influențelor atmosferice. Rezistențe de silit se utilizează la bornele bobinelor de joasă tensiune, iar descărcătoare la cele de înaltă tensiune.

19. Ventilația bobinelor de reactanță este foarte importantă. Se vor prevedea spații suficiente în jurul bobinei și pînă la pereții celulei, pentru ca aerul să poată ajunge și să poată pătrunde radial prin înfășurări. Deschiderile de ventilație la capetele bobinei vor avea o suprafață de circa 0,1 m² de fiecare kilowatt pierdut.

20. Utilizarea bobinelor de reactanță în stații. Utilizarea bobinelor de reactanță în legături principale depinde de capacitatea stației, a sistemului întreg și de limitarea manevrelor.

În stații cu capacitate mică nu se utilizează bobine de reactanță. Ele sînt însă favorabile în derivații cu putere nominală mică dela barele unor centre puternice și anume, cu cît puterea nominală este mai mică, cu atît scad pierderile în exploatare.

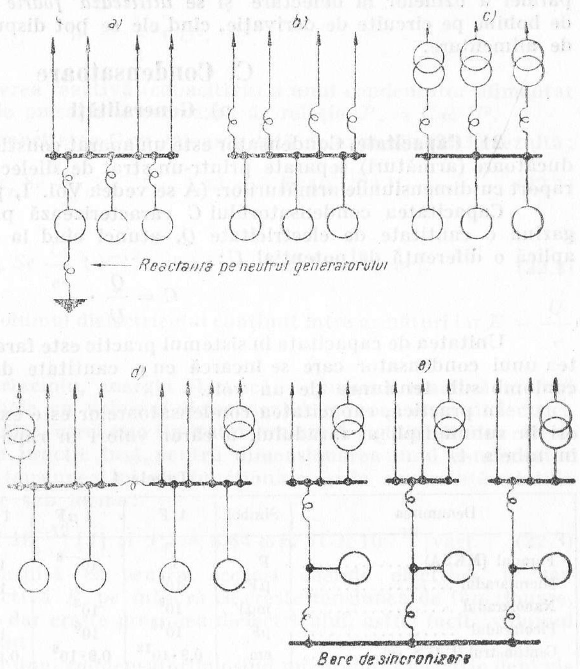


Fig. 16. — Utilizarea bobinelor de reactanță în stații: a — reactanțe pe generatoare; b — reactanțe pe plecări; c — reactanțe pe transformatoare; d — reactanțe între bare; e — reactanțe între bara principală și bara de sincronizare

Scheme unifilare și unele detalii asupra unor bobine de reactanță se dau în fig. 16 și mai jos:

α) *Bobine de reactanță de generatoare* se folosesc pentru a proteja generatoarele și a limita curenții de scurtcircuit. La turbogeneratoare de 3 000 rot/min este uneori necesar să se prevadă cîte o bobină și la legătura neutrului cu pămîntul, pentru a limita efectele unei puneri la corp. (Nu este necesară la hidrogeneratoare).

β) *Bobina de reactanță de feedere* se folosește pentru a limita și a localiza efectele curenților de scurtcircuit, care apar în aval de bobină. Ea reduce perturbațiile de tensiune datorite defectărilor pe feedere.

γ) *Bobina de reactanță de transformatoare*, care protejează transformatoarele de curenți prea mari. Nu se utilizează decît rareori, dată fiind reactanța relativ mare a transformatoarelor moderne.

δ) *Bobina de reactanță de cuplă* se utilizează pentru a separa secțiuni de bare. În condiții normale, curenții care trec prin cuplă sînt reduși. Trecerea curenților de scurtcircuit este strangulată însă de bobină. Bobinele de *cuplă nu protejează generatoarele* legate la secțiunea defectată. Ele favorizează mult rămînerea în paralel a uzinelor la defectare și se *utilizează foarte des*. Se va evita montarea de bobine pe circuite de derivație, cînd ele se pot dispune pe circuitele principale de alimentare.

C. Condensatoare

a) Generalități

21. **Capacitate.** Condensator este un aparat constituit din două suprafețe conducătoare (armături) separate printr-un strat de dielectric avînd o grosime mică în raport cu dimensiunile armăturilor. (A se vedea Vol. I, pag. 235 § 24).

Capacitatea condensatorului C caracterizează proprietatea lui de a înmagazina o cantitate de electricitate Q, atunci cînd la bornele condensatorului se aplică o diferență de potențial U:

$$C = \frac{Q}{U}\,.$$

Unitatea de capacitate în sistemul practic este faradul, reprezentînd capacitatea unui condensator care se încarcă cu o cantitate de electricitate egală cu un coulomb sub tensiunea de un volt.

În practică, capacitatea condensatoarelor este exprimată de cele mai multe ori în submultipli ai faradului, a căror valori în raport cu faradul sînt indicate în tabela 4.

Tabela 4

Denumirea	Simbol	1 F	1 μF	1 mμF	1 pF	1 cm
Faradul (MKSA)	F	1	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	$1{,}11\cdot10^{-12}$
Microfaradul	μF	10^{6}	1	10^{-3}	10^{-6}	$1{,}11\cdot10^{-6}$
Nanofaradul	mμF	10^{9}	10^{3}	1	10^{-3}	$1{,}11\cdot10^{-3}$
Picofaradul	pF	10^{12}	10^{6}	10^{3}	1	1,11
Centimetrul (C.G.S. es)	cm	$0{,}9\cdot10^{12}$	$0{,}9\cdot10^{6}$	$0{,}9\cdot10^{3}$	0,9	1

Proprietățile caracteristice ale unui condensator nu depind de natura și grosimea armăturilor. Ele depind însă de natura și de grosimea dielectricului. Într-adevăr, luînd în considerare cazul cel mai simplu al unui condensator plan avînd armăturile paralele, sau al unui condensator al cărui dielectric are o grosime constantă și foarte mică în comparație cu suprafața armăturilor, valoarea capacității este dată de relația (A se vedea Vol. I, pag. 236 § 25):

$$C = 8{,}84\cdot10^{-6}\ \varepsilon_r\ \frac{S}{e}\ [\mu\mathrm{F}], \tag{21.1}$$

în care: S este suprafața unei armături (cea mai mică dacă ele nu sînt egale), în m²;
e — distanța dintre armături, în m;
ε_r — constanta dielectrică relativă în raport cu vidul.

Din această relație rezultă că valoarea capacității, în afară de suprafața armăturilor nu depinde decît de grosimea și de constanta dielectrică a dielectricului.

Tensiunea pe care o poate suporta un condensator depinde și ea de grosimea și de natura dielectricului. Din acest punct de vedere, fiecare dielectric este caracterizat prin valoarea *rigidității dielectrice* $\frac{U_M}{e}$, reprezentînd raportul dintre tensiunea maximă pe care o poate suporta un strat de dielectric și grosimea lui, și care în mod uzual se exprimă în kV/mm.

22. **Energia condensatorului. Puterea reactivă.** Energia electrică înmagazinată de un condensator este dată de expresia (a se vedea M.I.E. Vol. I pag. 273 § 102).

$$W = \frac{1}{2}\ CU^2.$$

Pe de altă parte, puterea reactivă (capacitivă) a unui condensator alimentat cu o tensiune alternativă de pulsație ω este dată de relația $P_r = C\,\omega\,U^2$.

Dacă se înlocuiește capacitatea C cu valoarea dată de expresia (21.1) rezultă;

$$W = 4{,}42\ \varepsilon_r\ Se\ \frac{U^2}{e^2}\ 10^{-12} = 4{,}42\ \varepsilon_r\ VE^2\ 10^{-12}\ [\mathrm{J}] \tag{22.1}$$

și:

$$P_r = 8{,}84\ \omega\,\varepsilon_r\ Se\ \frac{U^2}{e^2}\ 10^{-12} = 8{,}84\ \omega\,\varepsilon_r\ VE^2\ 10^{-12}\ [\mathrm{var}], \tag{22.2}$$

în care $V = Se$ reprezintă volumul dielectricului conținut între armături iar $E = \frac{U}{e}$ reprezintă cîmpul electric.

În consecință, în principiu, energia electrică și puterea reactivă a unui condensator sînt proporționale cu volumul dielectricului, cu constanta dielectrică și cu pătratul cîmpului electric, care este limitat de valoarea rigidității dielectrice.

Din punct de vedere practic însă, pentru dimensionarea unui condensator trebuie să se țină seama de tensiunea lui de funcționare, și în consecință relațiile (22.1) și (22.2) se pot pune sub forma:

$$W = 4{,}42\ \varepsilon_r\,SUE\ 10^{-12}\ [\mathrm{J}]\ \text{ și }\ P_r = 8{,}84\ \omega\,\varepsilon_r\ SUE\ 10^{-12}\,[\mathrm{var}]. \tag{22.3}$$

Din aceste relații rezultă că pentru aceeași energie electrică W sau pentru aceeași putere reactivă P_r pe măsură ce crește tensiunea de funcționare, scade suprafața armăturilor dar crește grosimea dielectricului, astfel încît volumul dielectricului rămîne constant.

Costul de fabricație al unui condensator folosind un anumit dielectric depinde însă pe de-o parte de volumul de dielectric și pe de altă parte de suprafața armăturilor care condiționează cantitatea de metal utilizată în construcția lor și manopera întrebuințată în fabricarea condensatorului.

În consecință, rezultă că pentru o anumită energie electrică sau pentru o anumită putere reactivă, cu cît tensiunea este mai ridicată, suprafața armăturilor fiind mai redusă iar volumul dielectricului rămînînd constant, cu atît costul condensatoarelor se micșorează. Din această cauză, costul condensatoarelor industriale utilizate pentru îmbunătățirea factorului de putere este cu mult mai ridicat pentru condensatoarele de joasă tensiune decît pentru cele de înaltă tensiune la putere capacitivă egală. Din aceleași motive, în cazul rețelelor trifazate se recomandă pentru condensatoare montajul în triunghi și nu cel în stea.

23. **Clasificarea condensatoarelor.** Condensatoarele pot fi clasificate după domeniul de aplicare în următoarele grupe:

α) *Condensatoare pentru instalații electroenergetice*:

— Condensatoare pentru îmbunătățirea factorului de putere, pentru pornirea motoarelor asincrone monofazate și pentru reglajul tensiunii în rețelele electrice de curent alternativ cu frecvență industrială.

— Condensatoare pentru instalațiile de încălzire, topire sau călire superficială prin curenți de înaltă frecvență, folosind frecvențe de la 600 la 30 000 Hz.

δ) *Bobina de reactanţă de cuplă* se utilizează pentru a separa secţiuni de bare. În condiţii normale, curenţii care trec prin cuplă sînt reduşi. Trecerea curenţilor de scurtcircuit este strangulată însă de bobină. Bobinele de *cuplă nu protejează generatoarele* legate la secţiunea defectată. Ele favorizează mult rămînerea în paralel a uzinelor la defectare şi se *utilizează foarte des*. Se va evita montarea de bobine pe circuite de derivaţie, cînd ele se pot dispune pe circuitele principale de alimentare.

C. Condensatoare

a) Generalităţi

21. **Capacitate.** Condensator este un aparat constituit din două suprafeţe conducătoare (armături) separate printr-un strat de dielectric avînd o grosime mică în raport cu dimensiunile armăturilor. (A se vedea Vol. I, pag. 235 § 24).

Capacitatea condensatorului C caracterizează proprietatea lui de a înmagazina o cantitate de electricitate Q, atunci cînd la bornele condensatorului se aplică o diferenţă de potenţial U:

$$C = \frac{Q}{U}\,.$$

Unitatea de capacitate în sistemul practic este faradul, reprezentînd capacitatea unui condensator care se încarcă cu o cantitate de electricitate egală cu un coulomb sub tensiunea de un volt.

În practică, capacitatea condensatoarelor este exprimată de cele mai multe ori în submultipli ai faradului, a căror valori în raport cu faradul sînt indicate în tabela 4.

Tabela 4

Denumirea	Simbol	1 F	1 μF	1 mμF	1 pF	1 cm
Faradul (MKSA)	F	1	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	$1{,}11 \cdot 10^{-12}$
Microfaradul	μF	10^{6}	1	10^{-3}	10^{-6}	$1{,}11 \cdot 10^{-6}$
Nanofaradul	mμF	10^{9}	10^{3}	1	10^{-3}	$1{,}11 \cdot 10^{-3}$
Picofaradul	pF	10^{12}	10^{6}	10^{3}	1	1,11
Centimetrul (C.G.S. es)	cm	$0{,}9 \cdot 10^{12}$	$0{,}9 \cdot 10^{6}$	$0{,}9 \cdot 10^{3}$	0,9	1

Proprietăţile caracteristice ale unui condensator nu depind de natura şi grosimea armăturilor. Ele depind însă de natura şi de grosimea dielectricului. Într-adevăr, luînd în considerare cazul cel mai simplu al unui condensator plan avînd armăturile paralele, sau al unui condensator al cărui dielectric are o grosime constantă şi foarte mică în comparaţie cu suprafaţa armăturilor, valoarea capacităţii este dată de relaţia (A se vedea Vol. I, pag. 236 § 25):

$$C = 8{,}84 \cdot 10^{-6}\ \varepsilon_r \frac{S}{e}\ [\mu\text{F}], \tag{21.1}$$

în care: S este suprafaţa unei armături (cea mai mică dacă ele nu sînt egale), în m²;
e — distanţa dintre armături, în m;
ε_r — constanta dielectrică relativă în raport cu vidul.

Din această relaţie rezultă că valoarea capacităţii, în afară de suprafaţa armăturilor nu depinde decît de grosimea şi de constanta dielectrică a dielectricului.

Tensiunea pe care o poate suporta un condensator depinde şi ea de grosimea şi de natura dielectricului. Din acest punct de vedere, fiecare dielectric este caracterizat prin valoarea *rigidităţii dielectrice* $\frac{U_M}{e}$, reprezentînd raportul dintre tensiunea

maximă pe care o poate suporta un strat de dielectric şi grosimea lui, şi care în mod uzual se exprimă în kV/mm.

22. **Energia condensatorului. Puterea reactivă.** Energia electrică înmagazinată de un condensator este dată de expresia (a se vedea M.I.E. Vol. I pag. 273 § 102).

$$W = \frac{1}{2}\ CU^2.$$

Pe de altă parte, puterea reactivă (capacitivă) a unui condensator alimentat cu o tensiune alternativă de pulsaţie ω este dată de relaţia $P_r = C\,\omega\,U^2$.

Dacă se înlocuieşte capacitatea C cu valoarea dată de expresia (21.1) rezultă;

$$W = 4{,}42\ \varepsilon_r\, Se\, \frac{U^2}{e^2}\, 10^{-12} = 4{,}42\ \varepsilon_r\, VE^2\, 10^{-12}\ [\text{J}] \tag{22.1}$$

şi:

$$P_r = 8{,}84\ \omega\, \varepsilon_r\, Se\, \frac{U^2}{e^2}\, 10^{-12} = 8{,}84\ \omega\, \varepsilon_r\, VE^2\, 10^{-12}\ [\text{var}], \tag{22.2}$$

în care $V = Se$ reprezintă volumul dielectricului conţinut între armături iar $E = \frac{U}{e}$ reprezintă cîmpul electric.

În consecinţă, în principiu, energia electrică şi puterea reactivă a unui condensator sînt proporţionale cu volumul dielectricului, cu constanta dielectrică şi cu pătratul cîmpului electric, care este limitat de valoarea rigidităţii dielectrice.

Din punct de vedere practic însă, pentru dimensionarea unui condensator trebuie să se ţină seama de tensiunea lui de funcţionare, şi în consecinţă relaţiile (22.1) şi (22.2) se pot pune sub forma:

$$W = 4{,}42\ \varepsilon_r\, SUE\, 10^{-12}\ [\text{J}] \text{ şi } P_r = 8{,}84\ \omega\, \varepsilon_r\, SUE\, 10^{-12}\ [\text{var}]. \tag{22.3}$$

Din aceste relaţii rezultă că pentru aceeaşi energie electrică W sau pentru aceeaşi putere reactivă P_r pe măsură ce creşte tensiunea de funcţionare, scade suprafaţa armăturilor dar creşte grosimea dielectricului, astfel încît volumul dielectricului rămîne constant.

Costul de fabricaţie al unui condensator folosind un anumit dielectric depinde însă pe de-o parte de volumul de dielectric şi pe de altă parte de suprafaţa armăturilor care condiţionează cantitatea de metal utilizată în construcţia lor şi manopera întrebuinţată în fabricarea condensatorului.

În consecinţă, rezultă că pentru o anumită energie electrică sau pentru o anumită putere reactivă, cu cît tensiunea este mai ridicată, suprafaţa armăturilor fiind mai redusă iar volumul dielectricului rămînînd constant, cu atît costul condensatoarelor se micşorează. Din această cauză, costul condensatoarelor industriale utilizate pentru îmbunătăţirea factorului de putere este cu mult mai ridicat pentru condensatoarele de joasă tensiune decît pentru cele de înaltă tensiune la putere capacitivă egală. Din aceleaşi motive, în cazul reţelelor trifazate se recomandă pentru condensatoare montajul în triunghi şi nu cel în stea.

23. **Clasificarea condensatoarelor.** Condensatoarele pot fi clasificate după domeniul de aplicare în următoarele grupe:

α) *Condensatoare pentru instalaţii electroenergetice*:

— Condensatoare pentru îmbunătăţirea factorului de putere, pentru pornirea motoarelor asincrone monofazate şi pentru reglajul tensiunii în reţelele electrice de curent alternativ cu frecvenţă industrială.

— Condensatoare pentru instalaţiile de încălzire, topire sau călire superficială prin curenţi de înaltă frecvenţă, folosind frecvenţe de la 600 la 30 000 Hz.

— Condensatoare pentru filtrele instalaţiilor de redresoare.
— Condensatoare pentru protecţia împotriva supratensiunilor şi pentru filtre de înaltă frecvenţă folosite în protecţia instalaţiilor de înaltă tensiune împotriva supratensiunilor.
— Condensatoare pentru diferite scheme de impuls.

β) *Condensatoare pentru telecomunicaţii*:
— Condensatoare pentru cuplarea sau decuplarea circuitelor.
— Condensatoare pentru telecomunicaţii prin curenţi purtători pe liniile de transport de curent alternativ şi de curent continuu la înaltă tensiune.
— Condensatoare variabile şi reglabile pentru acordarea circuitelor.
— Condensatoare pentru filtrarea tensiunilor continue de alimentare a aparatelor.

Din punct de vedere al dielectricilor folosiţi, condensatoarele pot fi împărţite în 4 mari grupe:
— Condensatoare folosind ca dieletric, vidul, aerul sau diferite gaze.
— Condensatoare folosind dielectrici lichizi ca uleiul mineral, uleiul de ricin sau alte materiale izolante sintetice.
— Condensatoare cu dielectric solid ca sticlă, mică sau diferite produse ceramice.
— Condensatoare folosind dielectrici solizi în asociaţie cu dielectrici lichizi ca hîrtie şi altele materiale sintetice, impregnate cu uleiuri minerale sau alţi izolanţi sintetici lichizi.

b) Caracteristicile dielectricilor pentru condensatoare

24. Generalităţi. Un dielectric este un mediu care are proprietatea de a restitui în total sau în parte energia utilizată pentru stabilirea cîmpului electric.

Toate materialele izolante reprezintă dielectrici imperfecţi, deoarece la stabilirea tensiunii se produc curenţi de conducţie sau de absorbţie în pierderi dielectrice. Numai vidul este un dielectric perfect, deoarece are o conductibilitate nulă şi nu are pierderi dielectrice. În cazul normal un dielectric se comportă ca un circuit electric echivalent a cărui schemă electrică este reprezentată în fig. 17.

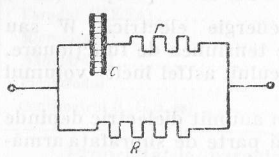


Fig. 17. — Circuitul electric echivalent al unui dielectric.

Circuitul este constituit din două derivaţii în paralel: una este formată de capacitatea C în serie cu rezistenţă r care ar corespunde pierderilor dielectrice şi cealaltă este formată din rezistenţa R de izolaţie.

Într-un dielectric perfect, r ar trebui să fie nul şi R infinit. Valorile lui C, r şi R nu sînt constante; ele depind de temperatură, frecvenţă şi de valoarea cîmpului electric.

Caracteristicile condensatoarelor depind de natura dielectricilor utilizaţi, iar factorii care influenţează asupra acestor dielectrici determină variaţii ale acestor caracteristici. Cei mai mulţi dintre dielectricii folosiţi în fabricarea condensatoarelor sînt combinaţii complexe de diferite substanţe chimice. Orice variaţii în procesele de fabricaţie ale acestor dielectrici sau în modul lor de asociere pot să conducă la rezultate foarte diferite, atît în ce priveşte caracteristicile condensatoarelor cît şi în ce priveşte modul lor de comportare în exploatare.

Caracteristicile dielectricilor care au cea mai mare importanţă în fabricarea şi funcţionarea condensatoarelor sînt: *rigiditatea dielectrică, constanta dielectrică, pierderile dielectrice, intensitatea cîmpului electric, coeficientul de temperatură al constantei dielectrice şi rezistenţa de izolaţie.* Fiecare din aceste caracteristici pot să influenţeze într-o măsură mai mică sau mai mare asupra comportării condensatorului după condiţiile de funcţionare la care este supus în exploatare.

25. Rigiditatea dielectrică. Rigiditatea dielectrică a unui material izolant este valoarea maximă a cîmpului electric (gradientul de potenţial) la care poate fi supus acel material fără ca să se producă o străpungere.

Străpungerea unui dielectric sub acţiunea cîmpului electric constă din schimbarea bruscă a structurii acestuia trecînd de la starea de neconductivitate la starea de conductivitate.

Din punct de vedere practic, rigiditatea dielectrică reprezintă raportul între tensiunea aplicată şi între grosimea dielectricului în punctul în care gradientul de potenţial rezultînd din forma electrozilor de încercare, are valoarea maximă.

Tensiunea de străpungere şi implicit rigiditatea dielectrică a unui izolant depinde de calităţile lui naturale, cum şi de condiţiile de fabricaţie sau de păstrare, cum ar fi de exemplu densitatea, porozitatea, conţinutul de umiditate, etc. De asemenea, valoarea rigidităţii dielectrice măsurate depinde foarte mult de condiţiile de încercare şi în special de grosimea dielectricului, de forma şi dimensiunile electrozilor, de forma şi distribuţia cîmpului electric în material, de frecvenţa tensiunii aplicate, de modul şi durata aplicării tensiunii, de oboseala materialului, rezultînd din aplicarea repetată a tensiunii, de temperatură, de conţinutul de particule de aer sau de umiditate şi de eventuale modificări chimice produse prin acţiunea cîmpului electric. Din această cauză, pentru a putea stabili valorile rigidităţii dielectrice este necesar să se specifice metoda şi condiţiile de încercare.

Valorile aproximative la temperatura de 20°C, ale rigidităţii dielectrice pentru principalele materiale izolante folosite ca dielectrici în construcţia condensatoarelor, sînt indicate în tabela 5.

Tabela 5. Caracteristicile dielectricilor

Materiale izolante	Constanta dielectrică ε_r		Factor de pierderi tg δ %		Rigiditate dielectrică kV/mm
	la 50 Hz	la 1000 Hz	la 50 Hz	la 1000 Hz	
Aer	1	1	0	0	—
Ulei mineral	2,2	—	0,004	—	45—50
Schellac	3,5	—	0,01	—	20—30
Ulei de ricin	4,7	—	0,18	—	—
Difenil clorurat	4,95	—	0,05	—	14
Naftalină clorurată (Halowax)	4,5	—	0,1—0,4	—	10
Parafină	2,15	—	0,005	—	20—30
Polietilenă	2,2	—	0,0005	—	40
Polistiren	2,5	2,5	0,01—0,03	0,01—0,03	20—30
Bachelită pe bază de hîrtie	5—10	3,6—5,5	—	2,5	30—40
Bachelită cu umplutură de făină de lemn	5—12	4,5—8	4—30	3,5—16	10—13
Bachelită cu umplutură minerală	5—18	4,5—15	10—30	0,5—0,8	2—9
Cauciuc	—	2,8—3,3	—	0,3—0,8	40
Hîrtie (uscată)	2,3—2,8	—	0,15—0,5	—	5—10
Celuloză (acetată)	3,5—6,5	3,2—6,0	1,6	1,0	30—40
Celofan	5—8	7,8	0,3—1,0	0,1—0,5	—
Mică	—	6,0—7,5	—	0,01—0,09	85—120
Micanit	—	5,0—6,5	—	0,1—0,2	15—30
Micalex	—	6,2	—	0,17	20
Sticlă în plăci	—	5,5—9,0	—	0,2—0,4	—
Sticlă pyrex	—	4—6	—	0,16—0,4	—
Cuarţ	—	4,2	—	0,01—0,02	0,5—0,65
Porţelan	—	5,5—7	—	0,8—2	30—35
Steatit	—	5,0—6,3	—	0,01—0,3	30
Produse ceramice cu bioxid de titaniu	—	80—160	—	0,05—1	25
Produse ceramice cu bioxid de titaniu amestecat cu alte minerale	—	10—8000	—	0,05—1	20—25

În ce privește influența condițiilor de fabricare asupra rigidității dielectrice, exemplul cel mai caracteristic îl constituie hîrtia impregnată folosită la fabricarea condensatoarelor. Valoarea rigidității dielectrice pentru această hîrtie variază între 100 . . . 300 kV/mm. Această valoare este mai mare în cazul cînd densitatea hîrtiei este mai mare și depinde într-o mare măsură de natura substanței folosite pentru impregnare: în general, rigiditatea dielectrică este mai mare atunci cînd impregnarea se face cu un impregnant lichid decît cu un impregnant solid.

Rigiditatea dielectrică depinde însă într-o măsură și mai mare de procesul de eliminare a umidității din hîrtie și de porozitatea hîrtiei. Rigiditatea dielectrică a condensatoarelor cu hîrtie impregnată este influențată de numărul punctelor slabe pe care le are hîrtia și care sînt datorite atît conținutului inevitabil a unor particule conductoare sau semiconductoare care reduc grosimea efectivă a dielectricului cît și a găurilor sau porilor care există în hîrtie, sau incluziunilor de aer sau de umiditate rămase în urma condițiilor defavorabile de e ecuție ale procesului de uscare și de impregnare.

Pentru un condensator care are ca dielectric un singur strat de hîrtie, tensiunea de străpungere și indirect rigiditatea dielectrică tind către zero în cazul cînd capacitatea condensatorului și deci suprafața armăturilor este suficient de mare. Suprapunînd însă mai multe straturi de hîrtie, probabilitatea mai redusă de coincidență a punctelor slabe în suprapunere, face ca tensiunea de străpungere să fie mai ridicată. Din această cauză, în fabricarea condensatoarelor industriale se folosesc minimum două sau trei straturi de hîrtie mai subțire în locul unui strat mai gros.

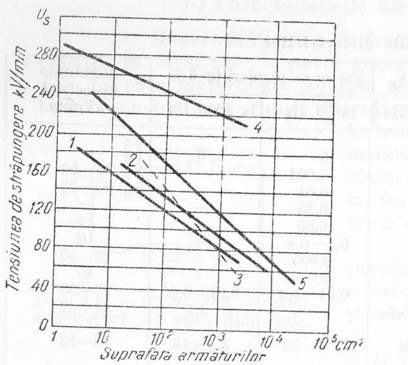


Fig. — 18. Variația tensiunii de străpungere (în kV/mm) pentru diferite grosimi de dielectric de hîrtie, în funcție de suprafața armăturilor: *1* — 2×65 m impregnare cu GBT-5 (tensiune continuă); *2* — 2×10 m impregnare cu parafină (tensiune alternativă 50 Hz); *3* — 2×8 m impregnare cu GBT-5. Hîrtie cu porozitate mare (tensiune continuă); *4* — 3×8 m impregnare cu vaselină. Hîrtie cu densitate mare (tensiune continuă); *5* — 4 × 10 m impregnare cu vaselină. Procesul de uscare și de impregnare defectuos (tensiune continuă).

În fig. 18 sînt reprezentate curbele de variație a tensiunii de străpungere pentru diferite grosimi de dielectrici de hîrtie impregnată cu diferite substanțe de impregnare utilizate în tehnica sovietică, în funcție de suprafața armăturilor.

Creșterea frecvenței produce de asemenea o micșorare a rigidității dielectrice, după cum rezultă din datele indicate în tabela 6 pentru condensatoarele cu hîrtie impregnată cu ulei.

Tabela 6. Variația rigidității dielectrice în funcție de frecvență

Frecvența Hz	Rigiditate dielectrică, în kV/mm	
	Încercare de scurtă durată	Încercare de lungă durată 5—7 ore
16 2/3	90	55
50	75	44
100	63	35
1000	32	10

Conform datelor din tabela 6, în cazul menținerii îndelungate sub tensiune a condensatoarelor cu hîrtie impregnată, atît frecvența cît și temperatura au o influență mai accentuată asupra rigidității dielectrice.

Rigiditatea dielectrică este influențată într-o măsură importantă de variația temperaturii și anume ea scade cu creșterea temperaturii, în conformitate cu diagrama reprezentată în fig. 19, care reprezintă influența temperaturii asupra tensiunii de străpungere a dielectricului unui condensator pentru o bobină de inducție de automobil, încercată la frecvența de 50 Hz.

26. Intensitatea cîmpului electric. Pentru a se asigura o funcționare în bune condiții a condensatoarelor, tensiunea de regim admisibilă U trebuie să fie mult inferioară tensiunii de străpungere U_s, astfel încît cîmpul electric E în dielectric să aibă o valoare mult mai mică decît rigiditatea dielectrică.

Raportul:

$$k = \frac{U_s}{U},$$

reprezintă coeficientul de siguranță în funcționarea condensatorului.

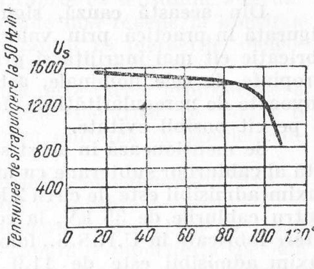


Fig. 19. — Variația tensiunii de străpungere a unui dielectric în funcție de temperatură.

Nu întotdeauna însă străpungerea unui dielectric este determinată de tensiunea totală aplicată întregii grosimi de dielectric, ci de valoarea gradientului de potențial care produce solicitarea cea mai intensă asupra unei părți din dielectric.

Gradientul de potențial reprezintă limita raportului între variația spațială a potențialului și grosimea stratului elementar de dielectric, căreia îi corespunde această variație. Atunci cînd un material izolant omogen este supus unui cîmp electric uniform, gradientul de potențial este constant. În cazul unui material izolant omogen supus unei tensiuni aplicate între doi electrozi avînd suprafețele plane și paralele, gradientul de potențial este raportul între tensiunea aplicată și grosimea dielectricului. Forma electrozilor influențează asupra distribuției cîmpului electric și deci asupra gradientului de potențial.

În cazul însă cînd se întrebuințează materiale izolante neomogene sau în mai multe straturi subțiri suprapuse, avînd constante dielectrice diferite, valoarea gradientului de potențial este diferită, chiar în cazul cînd cîmpul electric ar avea repartizare uniformă.

Substanțele care intră în compunerea unui material izolant neomogen sau straturile suprapuse, avînd constante dielectrice diferite, pot fi considerate ca niște condensatoare montate în serie și, în cazul unui cîmp uniform, valoarea diferențelor de potențial care se repartizează fiecărui strat este proporțională cu raportul $\frac{e}{\varepsilon_r}$ în care e reprezintă grosimea stratului și ε_r constanta lui dielectrică relativă.

În cazul cînd materialul izolant conține un strat sau o peliculă de dielectric avînd o constantă dielectrică redusă, cum este aerul, acesta poate să devină suprasolicitat și în consecință să fie supus ionizării și străpuns. Din această cauză este foarte important de a se îmbunătăți rigiditatea dielectrică de ansamblu a izolanților realizați din foi suprapuse prin tratamentul straturilor, înlăturînd golurile și pungile de aer și de umiditate precum și particulele străine.

Valoarea gradientului de potențial maxim admisibil în dielectric joacă un rol mult mai important în cazul condensatoarelor decît în cazul celorlalte aparate utilizate în instalațiile electrice. În adevăr, pentru celelalte aparate, adoptarea unui gradient de potențial mai mic în vederea măririi coeficientului de siguranță nu are nici o influență asupra caracteristicilor aparatului, ci conduce numai la o mărire a grosimii dielectricului și deci la o creștere corespunzătoare a costului izolației.

În cazul condensatoarelor însă, reducerea gradientului de potențial, antrenînd o mărire a grosimii dielectricului, determină o micșorare a capacității condensatorului și, în consecință, pentru a se menține aceiași capacitate, este necesar să se mărească în mod proporțional suprafața armăturilor. Rezultă deci că pentru o valoare dată a capacității în cazul condensatoarelor, micșorarea gradientului conduce la o creștere a volumului de dielectric invers proporțională cu patratul gradientului de potențial, în timp ce la celelalte aparate creșterea volumului de dielectric este invers proporțională cu puterea întîia a gradientului de potențial.

Din această cauză, siguranța în funcționarea condensatoarelor nu este asigurată în practică prin valori reduse ale gradientului de potențial ci printr-o fabricație cît mai îngrijită și prin menținerea unor condiții de exploatare cît mai apropiate de cele nominale, astfel încît solicitările suplimentare ale dielectricului provocate de neregularități de fabricație sau de condiții excesive de exploatare să fie pe cît posibil evitate.

Se menționează în acest sens că în timp ce în dielectricul de hîrtie impregnată al cablurilor subterane cu manta de plumb, valoarea gradientului de potențial maxim admisibil este de circa 2 kV/mm, pentru cablurile de 6 kV și de 4 kV/mm pentru cablurile de 35 kV, la condensatoarele pentru îmbunătățirea factorului de putere fabricate în U.R.S.S., folosind același tip de dielectric, gradientul de potențial maxim admisibil este de 11,9 kV/mm pentru condensatoarele de 380 V și de 12,5 kV/mm pentru condensatoarele de 6 kV.

Tabela 7. Valorile admisibile pentru intensitatea cîmpului electric în condensatoare cu hîrtie impregnată

Nr. crt.	Denumirea materialului de impregnare	Forma condensatorului	Capacitatea condensatorului, în μF	Temperatura maximă de regim	Felul tensiunii aplicate	E, în kV/mm — Grosimea și numărul straturilor de hîrtie: 2 straturi 7–8 μ	2 straturi 9–15 μ	3 sau mai multe straturi
1	Parafină	Aplatisat	0,5–1	30°C	continuă	—	10–11	—
2	Parafină sintetică-Galovax	Cilindric	pînă la 0,25[1])	60°C	»	7–9,5	12,5	14,5–15,5
3	Idem	Aplatisat	pînă la 4 [2])	60°C	»	8	5–10	12–14
4	Galovax	—	1–5	—	»	8	15–16	17–18
5	Vaselină	Cilindric și aplatisat	pînă la 0,1 [3])	70°C	»	12,5–13,8	15–18	23–26
6	Vaselină	idem	pînă la 0,1 [3])	100°C	»	10–11	12–14	16–20
7	Ulei mineral	idem	pînă la 0,1 [3])	70°C	»	15,5–17	16–22,5	29–32
8	Ulei mineral	Aplatisat	1–2	70°C	»	—	—	40
9	Ulei mineral sau ulei de ricin	—	—	—	»	8	15–16	26–27
10	Parafină sintetică-Galovax	Cilindric și aplatisat	pînă la 0,1[4])	60°C	alternativă 50 Hz	6,25	6,7	7,5
11	Galovax	—	—	60°C	»	—	6	9
12	Galovax, răcirea secțiunii în ulei	—	—	60°C	»	—	—	10–11
13	Vaselină	Cilindric și aplatisat	pînă la 0,1[4])	60°C	»	8,75	10	10–11
14	Ulei mineral	Aplatisat	1–2	70°C	»	—	—	15
15	Ulei mineral	»	1–2	50°C	»	—	—	10–12
16	Sovol	»	1–2	70°C	»	—	—	15

[1]) La capacități de 0,25–1 μF, U se micșorează cu 8–10 %.
[2]) La capacități mai mari de 4 μF, U se micșorează cu 10 %.
[3]) La capacitatea de 0,1–4 μF, U trebuie micșorat cu 10 %.
[4]) La capacitatea de 0,1–2 μF, U trebuie micșorat cu 10 %.

În tabela 7 sînt indicate [1]) valorile admisibile ale cîmpului electric pentru condensatoarele de diferite tipuri pentru tensiuni continue sau alternative de frecvență industrială, cu dielectric din hîrtie folosind diverse substanțe de impregnare.

Din examinarea datelor din această tabelă se poate constata că valorile admisibile ale gradientului de potențial sînt mult mai mari în cazul condensatoarelor pentru tensiuni continue decît în cazul condensatoarelor pentru tensiuni alternative.

Explicația acestui lucru constă pe de-o parte în faptul că tensiunile alternative, prin caracterul lor de repetare a solicitărilor conduc mai repede la obosirea și îmbătrînirea dielectricului, iar pe de altă parte în faptul că pierderile dielectrice conduc la încălzirea dielectricului.

27. Constanta dielectrică. Constanta dielectrică este acea proprietate a unui dielectric, care determină cantitatea de energie electrică ce poate fi înmagazinată în unitatea de volum de dielectric pentru unitatea de gradient de potențial.

Constanta dielectrică se exprimă în mod uzual printr-o valoare relativă în raport cu constanta dielectrică a vidului, care este luată ca unitate.

Deși constanta dielectrică nu prezintă o însemnătate deosebită în cazul folosirii unui dielectric la construcția altor aparate, ea capătă o importanță specială în fabricarea condensatoarelor, deoarece valoarea capacității este direct proporțională cu valoarea constantei dielectrice. Prin folosirea unor materiale izolante cu o constantă dielectrică ridicată, se poate reduce atît volumul dielectricului cît și suprafața armăturilor, ieftinindu-se costul condensatoarelor. Acest lucru este ilustrat în mod sugestiv de constatarea făcută la fabricarea condensatoarelor cu hîrtie impregnată, la care prin înlocuirea ca impregnant a uleiului mineral prin sovol, care are constanta dielectrică 5,1 în loc de 2,2, valoarea capacității condensatoarelor a fost mărită aproape cu 50 %.

În tabela 5 este indicată valoarea constantei dielectrice a principalelor materiale izolante utilizate la fabricarea condensatoarelor. Din această tabelă se poate constata că valoarea constantei dielectrice pentru cele mai multe din aceste materiale este cuprinsă între 2 și 10. Fac excepție produsele ceramice pe bază de bioxid de titaniu la care constanta dielectrică este de 80–160 putînd atinge valori pînă la 8 000 pentru anumite amestecuri cu alte minerale.

Capacitatea condensatoarelor variază cu temperatura și în general scade cu creșterea temperaturii, datorită variației constantei dielectrice cu temperatura.

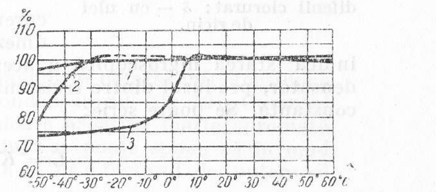


Fig. 20. — Variația capacității condensatoarelor cu hîrtie impregnată în funcție de temperatură: *1* — cu ulei mineral; *2* — cu ulei de ricin; *3* — cu difenil clorurat.

Coeficientul de temperatură este raportul $\frac{\Delta C}{C}$ între variația capacității datorite creșterii temperaturii cu 1°C și între capacitatea condensatorului. În general, acesta se exprimă în procente de variație pe grad centigrad, și definește stabilitatea valorii capacității unui condensator la variația condițiilor termice ale mediului ambiant. Pentru unii dielectrici, cum este hîrtia impregnată cu ulei mineral (fig. 20) coeficientul de temperatură are o valoare aproape nulă între anumite limite de temperatură, iar pentru alți dielectrici, cum este hîrtia impregnată cu ulei de ricin sau cu difenil clorurat, el variază mult pentru anumite limite de temperatură.

[1]) După V. T. Renni. *Condensatoare moderne cu hîrtie.*

Constanta dielectrică şi în consecinţă capacitatea condensatoarelor variază şi cu frecvenţa, descrescînd în general la creşterea frecvenţei. Variaţia este de ordinul 0,5% dela 60–1 000 Hz şi de 1% dela 1 000–20 000 Hz. În tabela 5 sînt indicate valorile constantei dielectrice la 50 şi la 1 000 Hz.

28. **Rezistenţa de izolaţie.** Condensatoarele supuse unei tensiuni continue prezintă un curent redus de scurgere între armături. Există două posibilităţi de scurgere a curentului între două armături separate printr-un dielectric: scurgerea prin interiorul dielectricului, care corespunde rezistenţei de izolaţie volumetrică şi scurgerea pe suprafaţa dielectricului, care corespunde rezistenţei de izolaţie superficială.

Rezistenţa de izolaţie superficială nu depinde atît de mult de proprietăţile izolante ale dielectricului, cît mai mult de starea suprafeţei şi în special de existenţa unui strat subţire de umiditate sau de ulei pe această suprafaţă.

Prin rezistenţa de izolaţie a unui dielectric, care caracterizează de fapt proprietăţile lui izolante, se înţelege în mod normal rezistenţa volumetrică.

Pentru condensatoarele avînd capacităţi mari şi deci cu un volum de dielectric mare în raport cu suprafeţele de scurgere de la marginile armăturilor, curentul de scurgere superficială este neglijabil în comparaţie cu curentul de scurgere prin interiorul dielectricului. Pentru condensatoarele cu capacităţi mici, valoarea curentului de scurgere superficială poate să devină relativ important.

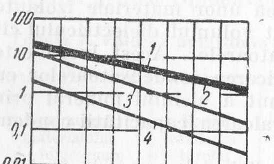


Fig. 21. — Variaţia rezistenţei de izolaţie în funcţie de temperatură pentru condensatoare cu hîrtie impregnată: *1* — cu ulei mineral; *2* — cu difenil clorurat; *3* — cu ulei de ricin.

Rezistenţa de izolaţie volumetrică se determină prin măsura curentului de scurgere, în curent continuu, sub tensiuni de 100–500 V la circa 60 secunde după aplicarea tensiunii. Ea se exprimă în megohmi.

Rezistenţa de izolaţie a unor dielectrici variază cu temperatura. În fig. 21 este reprezentată variaţia rezistenţei de izolaţie a condensatoarelor cu hîrtie impregnată în funcţie de temperatură.

Rezistenţa de izolaţie a dielectricilor prezintă o uşoară creştere la tensiuni înalte pentru anumite valori de temperatură şi pentru o anumită durată de ţinere a condensatorului sub tensiune.

Deoarece la unii dielectrici poroşi pierderile de curent pot să crească de 10... 1 000 ori în prezenţa umezelii, măsura lor poate să servească pentru a indica starea higroscopică a acestor dielectrici. Pentru un anumit tip de condensator, produsul dintre rezistenţa de izolaţie R şi capacitatea C trebuie să fie o constantă. Se poate scrie:

$$C = K\frac{S}{e} \quad \text{şi} \quad R = \rho\frac{e}{S}.$$

Deci:

$$CR = K\rho = \text{const.}$$

Pentru condensatoarele mici, sub 0,5 μF curentul de scurgere superficială în curent continuu poate să reprezinte un procent important din curentul total de scurgere, astfel încît produsul megohmi-microfarazi nu mai rămîne constant, putînd coborî pînă la un sfert din valoarea care corespunde la capacităţi mari.

La unii dielectrici, după perioade lungi de ţinere sub tensiune continuă, în special la temperaturi mai ridicate decît temperatura normală, curgerea permanentă de curent poate produce anumite reacţii electrolitice la armături, care pot conduce la distrugerea completă a condensatorului.

29. **Pierderi dielectrice.** Pierderile dielectrice sînt provocate prin frecarea ionilor care încearcă să stabilească orientarea sub acţiunea unui cîmp electric alternativ. Acest fenomen este similar fenomenului de histeresis magnetic şi se numeşte histeresis dielectric. Deoarece din cauza frecărilor orientarea ionilor în dielectric nu se produce în fază cu cîmpul electric şi deci cu tensiunea alternativă aplicată, defazajul care intervine face ca energia electrică pierdută din această cauză în timpul unei perioade a tensiunii să fie proporţională cu aria ciclului de histeresis şi cu volumul dielectricului.

Ciclul de histeresis dielectric are în general o formă aproape eliptică.

Pierderile dielectrice se exprimă în mod obişnuit prin unghiul de pierderi δ. Prin acest unghi se caracterizează raportul dintre puterea activă P consumată sub formă de pierderi, şi puterea reactivă a condensatorului $P_r = C\omega U^2$.

Se poate considera că ar exista o rezistenţă echivalentă r montată în serie cu condensatorul (v. § 24 şi fig. 17) şi care să absoarbă aceeaşi putere P. În acest caz se poate scrie (fig. 22):

$$\text{tg}\,\delta = \frac{P}{P_r} = \frac{rI^2}{XI^2} = 2\pi f C r.$$

Se poate de asemenea considera că ar exista o rezistenţă echivalentă R montată în derivaţie cu condensatorul (v. Vol. I, pag. 240 § 30) şi care să absoarbă aceeaşi putere P. În acest caz se poate scrie:

$$\text{tg}\,\delta = \frac{P}{P_r} = \frac{U^2}{R}\frac{X}{U^2} = \frac{1}{2\pi fCR}.$$

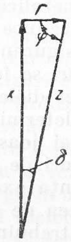


Fig. 22. — Unghiul de pierderi al unui dielectric.

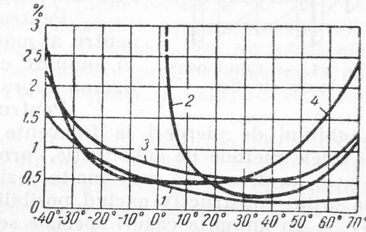


Fig. 23. — Variaţia factorului de putere al unui condensator cu hîrtie impregnată, în funcţie de temperatură: *1* — cu ulei mineral; *2* — cu difenil clorurat; *3* — cu halowax; *4* — cu ulei de ricin.

Pierderile dielectrice se exprimă prin unghiul δ în radiani (1 radian fiind egal cu 57,3°) sau de cele mai multe ori prin tg δ în procente.

Avînd în vedere că în mod normal unghiul δ este foarte mic avînd o valoare cuprinsă între 5′ şi 20′ se poate considera că:

$$\text{tg}\,\delta = \sin\delta = \cos\varphi,$$

în care φ reprezintă unghiul complimentar care este unghiul de defazaj între tensiunea aplicată condensatorului şi curentul care străbate condensatorul (fig. 22). Curentul fiind decalat înaintea tensiunii, unghiul φ are o valoare negativă foarte apropiată de 90° (variază între 89° 40′ şi 89° 55′). În consecinţă se poate spune că în mod aproximativ pierderile dielectrice pot fi exprimate şi prin factorul de putere al condensatorului cos φ.

Pierderile dielectrice pot să varieze cu temperatura. În fig. 23 este reprezentată variaţia factorului de putere al condensatorului cu hîrtie impregnată în funcţie de temperatură.

c) Caracteristicile armăturilor

30. **Generalităţi.** Natura armăturilor este strîns legată de natura dielectricului folosit în construcţia condensatoarelor. Astfel armăturile condensatoarelor folosind dielectrici gazoşi sau lichizi trebuie să aibă oarecare rigiditate mecanică pentru a le da posibilitatea să reziste la forţele electrostatice care se produc între armături, datorită cîmpului electric, deoarece dielectricul avînd o structură

fluidă nu prezintă nici o rezistenţă mecanică. Din această cauză, armăturile se construiesc din tablă de fier sau din alte metale, şi sînt menţinute la distanţele corespunzătoare grosimii necesare de dielectric, cu ajutorul unor piese izolante speciale conform fig. 24.

Această construcţie nu permite realizarea unor grosimi mici de dielectric şi în consecinţă a unor valori ridicate pentru gradientul de potenţial. Din această cauză, construcţia condensatoarelor de acest tip este costisitoare şi nu este folosită decît pentru capacităţi mici la înaltă tensiune sau pentru cazuri speciale.

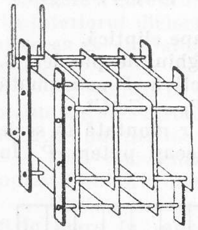


Fig. 24. — Condensatoare cu ulei.

Utilizarea dielectricilor solizi face posibilă folosirea unor armături complet lipsite de rigiditate mecanică, deoarece rezistenţa mecanică faţă de forţele electrostatice dintre armături este determinată de rezistenţa mecanică a dielectricului. Acest lucru face posibilă realizarea armăturilor din foiţe metalice foarte subţiri aplicate pe dielectric.

Pentru a reduce cît mai mult costul armăturilor şi pentru a mări siguranţa de exploatare a condensatoarelor în anumite cazuri se folosesc armături realizate prin metalizarea suprafeţei dielectricului.

Pentru determinarea constantei dielectrice şi a unghiului de pierderi la frecvenţe mai joase de 1 MHz se folosesc în laborator la unele metode de substituţie, armături de mercur.

La frecvenţe mai înalte rezistenţa excesivă a mercurului şi complicaţiile de ordin constructiv exclud posibilitatea de utilizare a acestor armături.

În anumite cazuri speciale se întrebuinţează şi armături de grafit coloidal. Ele prezintă o rezistenţă prea ridicată la înaltă frecvenţă şi de aceea nu pot fi întrebuinţate la condensatoarele utilizate în radio.

31. **Armături din foiţe metalice.** Pentru confecţionarea armăturilor la condensatoarele cu hîrtie impregantă s-au folosit foarte mult foiţe de cositor. În ultimul timp, acestea au început să fie înlocuite prin foiţe de aluminiu. În U.R.S.S. armăturile condensatoarelor cu hîrtie impregnată se execută din foiţe de aluminiu, avînd o grosime de 10 μ din calitatea A0 cu un conţinut de metal pur de cel puţin 99,6 % sau din calitatea A1 cu un conţinut de cel puţin 99,5 %. Pentru o capacitate şi o tensiune dată, greutatea specifică a armăturilor pe kvar variază proporţional cu grosimea foiţelor de aluminiu, ceea ce a condus la tendinţa de a se întrebuinţa foiţe cît se poate mai subţiri.

Aderenţa imperfectă dintre aceste armături şi dielectricul condensatorului are o influenţă importantă asupra condiţiilor de funcţionare a condensatorului. Interstiţiile de aer dintre armături şi dielectric echivalează cu montarea în serie cu condensatorul constituit de dielectric a unui condensator cu aer de valoare neprecisă. Acesta constituie o sursă de inconveniente, întrucît din cauza cîmpului electric foarte intens în această regiune el devine sediul unor mici descărcări electrice.

Armăturile de foiţă prezintă unele inconveniente datorită faptului că îngreunează operaţiile de uscare a hîrtiei şi introduc o rezistenţă care face să sporească valoarea unghiului de pierderi. Din această cauză aceste armături nu pot fi utilizate pentru condensatoarele destinate să lucreze la înaltă frecvenţă.

32. **Armături obţinute prin metalizarea suprafeţei dielectricului.** În anumite cazuri, armăturile condensatoarelor cu hîrtie impregnată se realizează prin metalizarea benzilor de hîrtie, fie prin pulverizarea catodică, fie prin vaporizare în vid a unor metale cu puncte de topire joasă, cum sînt zincul sau cadmiul.

Stratul metalic depus pe hîrtie are o grosime de 0,1 μ adică este foarte subţire faţă de grosimea dielectricului care are circa 8 μ. Din această cauză, în

cazul cînd, datorită unei supratensiuni, se produce o străpungere a dielectricului, curentul de scurtcircuit care apare provoacă o volatilizare a stratului metalic foarte subţire pe o porţiune cu puţin mai mare decît punctul de străpungere al hîrtiei, înlăturînd astfel defectul produs şi asigurînd în mod automat continuitatea în funcţionarea condensatorului.

La condensatoarele noi, vaporii metalici pătrund în toate porozităţile hîrtiei, astfel încît cu ocazia încercărilor făcute în fabrică, punctele slabe sînt înlăturate în mod automat prin volatilizarea metalului şi condensatorul rămîne bun pentru utilizare în exploatare.

Pentru metalizarea hîrtiei necesare condensatoarelor se folosesc următoarele metode:

— Metalizarea prin sprițuire, care realizează armături sub o formă granulară şi prezintă inconvenientul că lasă posibilitatea ca între armături şi dielectric să rămînă particule mici de aer. Dat fiind preţul lor mai redus aceste armături sînt totuşi folosite pentru condensatoarele necesare în radio-frecvenţă.

— Metalizarea prin depunere pe cale chimică, se obţine prin reducerea soluţiei unei sări de argint. Uneori armăturile realizate pe această cale nu aderă bine la suprafeţele netede. În astfel de cazuri este necesară o sporire a grosimii armăturilor astfel obţinute, fie pe cale electrolitică, fie prin sprițuire, pentru a se reduce rezistenţa electrică în înaltă frecvenţă.

— Metalizarea prin pulverizare catodică în vid. Armăturile obţinute pe această cale sînt foarte subţiri şi au o rezistenţă mare la înaltă frecvenţă. Din această cauză este necesar să se recurgă la o sporire a grosimii pe cale electrolitică.

Pentru metalizarea suprafeţei dielectricilor care trebuie să reziste la temperaturi foarte înalte şi în mod special pentru dielectrici constituiţi din materiale ceramice, se folosesc procedee speciale:

Se acoperă suprafaţa dielectricului cu o soluţie coloidală de argint sau de alt metal corespunzător, întinzîndu-se cu periuţa sau prin pulverizare. Condensatorul se încălzeşte apoi progresiv pînă la 800°C. Soluţia se arde la circa 400°C formînd un strat subţire, uniform, legat intim de dielectric. La unele din procedee se utilizează oxid de argint, compuşi organici de argint sau pulbere fină de argint amestecată cu ulei, cu răşină şi cu 5 % bioxid de bismut sau oxid de plumb. La o temperatură de cîteva sute de grade Celsius, compuşii organici sînt arşi, oxidul este redus, bioxidul de bismut sau oxidul de plumb reacţionează cu silicaţii materialului ceramic al dielectricului şi fixează argintul. Pe suprafeţele ceramice nevitrificate, depunerile se fac la circa 750 . . . 800°C. Pe suprafeţele vitrificate, temperatura depinde de punctul de topire al smalţului superficial. Rezultatele cele mai bune se obţin acoperind stratul de argint cu un strat de cupru, pe cale electrolitică sau prin sprițuire, uşurînd astfel sudarea legăturilor la armături.

d) Caracteristicile condensatoarelor

33. **Sarcina reziduală.** Condensatoarele care au fost supuse un anumit timp (uneori chiar un interval de cîteva minute) unei tensiuni continue, reţin în interiorul dielectricului o sarcină remanentă, care se menţine chiar după ce ele au părut complet descărcate.

Cu cît tensiunea este mai mare şi cu cît ea a fost aplicată un timp mai îndelungat, cu atît sarcina remanentă (reziduală) va fi mai mare şi cu atît apariţia ei va fi mai promptă. Menţinerea acestei sarcini remanente se explică prin fenomenul de absorbţie comun celor mai mulţi dintre dielectricii solizi şi lichizi.

La condensatoarele mari această sarcină poate deveni periculoasă şi deaceea se recomandă, ca măsură de siguranţă, să fie ţinute scurtcircuitate, printr-un conductor

de rezistenţă neglijabilă, imediat ce au fost deconectate. Ele vor fi menţinute astfel mai multe zile sau chiar pînă cînd vor fi din nou conectate în circuit.

34. **Pierderi de energie.** În condensatoare se produc pierderi de energie prin următoarele fenomene:

— Pierderi prin rezistenţa de izolaţie, datorită imperfecţiei izolantului dintre armături, exprimate prin relaţia $P = \frac{U^2}{R}$ în care U este tensiunea aplicată şi R rezistenţa de izolaţie.

— Pierderi dielectrice provocate de variaţia cîmpului electric şi datorite fenomenului de histeresis dielectric. Valoarea lor creşte proporţional cu tensiunea şi cu frecvenţa.

— Pierderi datorite rezistenţei electrice r a conductorilor de legătură cu armăturile, exprimate prin expresia rI^2, în care rezistenţa r creşte cu frecvenţa din cauza efectului pelicular.

— Pierderi prin curenţi turbionari (Foucault) în armături care se produc în special la frecvenţele înalte.

Dintre toate aceste pierderi, cele mai importante în cazul curenţilor alternativi sînt pierderile dielectrice. În adevăr, curentul de scurgere permanent produce o pierdere de energie extrem de redusă. Astfel, un condensator de 1 μF are la tensiunea de 230 V un curent de scurgere permanentă de aproximativ, 0,00001mA, astfel încît pierderea datorită rezistenţei de izolaţie este de circa 0,0023 mW. Acelaşi condensator are în curent alternativ de 50 Hz un curent în fază cu tensiunea de circa 0,26 mA şi deci pierderi de aproximativ 60 mW. Dacă frecvenţa este de 1 000 Hz, pierderile la 230 V pot să ajungă la 1 W. Pierderile în armături sînt în mod normal neglijabile şi pot fi luate în consideraţie numai la frecvenţele foarte înalte. Deşi pierderile în condensator nu reprezintă decît aproximativ 0,5 % şi rare ori depăşesc 0,6 % din puterea capacitivă în vari a condensatorului, ele pot să provoace o creştere a temperaturii.

În cele mai multe cazuri, temperatura condensatorului se menţine în limitele siguranţei de funcţionare, dar dacă pierderile depăşesc 1 % din puterea capacitivă, supraîncălzirea interioară poate depăşi 38°C, creînd condiţii de instabilitate care pot duce în cîteva ore fie la deteriorarea dielectricului, fie la importante schimbări fizice care conduc şi ele la scurtarea vieţii condensatorului.

35. **Durata de funcţionare a condensatorului.** În timpul exploatării sau cu ocazia încercărilor este posibil ca valoarea foarte mică a curentului de scurgere prin dielectric între armăturile condensatorului să crească în mod brusc pînă cînd o scînteie urmată de un arc electric străpunge izolaţia. Această străpungere are în cele mai multe cazuri un caracter permanent; sînt totuşi condensatoare avînd ca dielectric gaze sau lichide sau condensatoare cu armături realizate prin metalizare care au proprietatea de autorefacere a dielectricului sau de autoînlăturare a defectului, deoarece după străpungere, curentul de scurgere se limitează din nou la valori reduse. Pentru celelalte condensatoare însă, după străpungerea dielectricului, curentul mare de conductivitate, îl face impropriu pentru înmagazinarea energiei electrice. Perioada de timp de la punerea în funcţiune a condensatorului şi pînă la străpungerea dielectricului constituie durata lui de viaţă sau durata lui de funcţionare. Această durată depinde de mai mulţi factori: temperatura ambiantă, valoarea supratensiunilor, etanşarea la umiditate, stabilitatea chimică a dielectricului, variaţiile de calitate ale materiilor prime şi ale procedeelor de fabricaţie.

Cu excepţia condensatoarelor care folosesc ca dielectric aerul, gaze inerte, produse de mică, sticlă sau produse ceramice, durata celorlalte condensatoare este influenţată într-o mare măsură de temperatură. Astfel, pentru o supraîncălzire de 55°C, durata de funcţionare a unui condensator cu hîrtie se reduce la 1/10 1/15 din aceea a unui condensator funcţionînd cu o supraîncălzire de 38°C.

La o supraîncălzire de 70°C, durata de viaţă poate să fie redusă la 1/1000 din durata normală. Aceste cifre au numai un caracter informativ, pentru a arăta influenţa temperaturii asupra duratei de funcţionare a condensatoarelor, dar ele nu sînt riguros aplicabile oricăror tipuri de dielectrici solizi sau lichizi.

Valoarea tensiunii aplicate are şi ea o influenţă foarte importantă asupra duratei de viaţă. Astfel, durata probabilă variază invers proporţional cu puterea a treia sau chiar cu puterea a cincea a raportului dintre tensiunea aplicată şi tensiunea normală. Umiditatea exercită deasemenea o influenţă foarte mare asupra duratei de funcţionare. Practica de exploatare a demonstrat că durata condensatoarelor care nu au o etanşare perfectă este redusă în proporţie de 1/10 pînă la 1/100 din durata celor perfect etanşe.

În general, cu cît constanta dielectrică a materialului izolant este mai mare, cu atît creşte conductivitatea şi factorul de putere şi în consecinţă cu atît se reduce durata de funcţionare probabilă. Sînt însă excepţii de la această regulă, în special pentru unii dielectrici solizi cum sînt bioxidul de titan, mica şi unele calităţi de sticlă.

36. **Tensiunea de străpungere.** Tensiunea la care se produce străpungerea dielectricului unui condensator la încercări are o importanţă foarte mare deoarece de valoarea ei depinde posibilitatea condensatorului de a rezista la supratensiuni în exploatare. La condensatoarele mici pentru tensiuni pînă la 1 000 V, dacă tensiunea de încercare este mărită în mod treptat cu cîte 100 V/s, tensiunea de străpungere poate atinge valori mult mai mari decît tensiunea normală. În cazul condensatoarelor pentru tensiuni mai înalte, pentru a se evita o supradimensionare şi un cost exagerat, se adoptă un factor de siguranţă mai redus. Pentru valori de la 1—100 kV factorul de siguranţă descreşte de la 8 la 2 şi peste 100 kV poate să fie mai redus decît 2.

Valorile tensiunii de străpungere în curent alternativ de 50 Hz sînt mai reduse decît valorile corespunzătoare în curent continuu, datorită încălzirii mai mari, provocate de pierderi, care cresc cu pătratul tensiunii.

e) Fabricarea condensatoarelor cu hîrtie impregnată

37. **Generalităţi.** Condensatoarele cu hîrtie impregnată reprezintă tipul cel mai mult întrebuinţat de condensatoare. În special pentru îmbunătăţirea factorului de putere se foloseşte numai acest tip de condensatoare.

Ca principiu de construcţie, condensatoarele electrice cu hîrtie impregnată constituie unul din tipurile cele mai simple de aparat electric. Toată dificultatea construcţiei lor rezidă în folosirea unei tehnologii de fabricaţie cît mai îngrijite, şi alegera unor materiale care să le asigure o bună calitate cu un cost avantajos.

Condensatorul propriu zis este alcătuit din aşa numitele secţiuni, adică din elemente de condensatoare avînd o formă de rulou cilindric sau aplatisat. Fiecare secţiune este alcătuită dintr-un pachet de armături de foiţe metalice separate între ele prin straturi de izolant constituite din hîrtie impregnată.

Ca material de armătură s-a întrebuinţat foarte mult foiţa de cositor. În ultimul timp acestea au început să fie înlocuite prin foiţe de aluminiu cu o grosime de 10 μ.

Astăzi, în industria condensatoarelor foiţele metalice şi hîrtia se folosesc sub formă de rulouri, ceea ce permite mecanizarea operaţiunii de fabricaţie prin înfăşurarea acestora în maşini speciale, prevăzute cu un rulou cilindric, pe care se înfăşoară simultan din diferite rulouri două benzi de staniol şi un număr

de benzi de hîrtie variabil cu tensiunea de funcţionare. La execuţia secţiunilor aplatisate, acestea se înfăşoară la maşină la fel ca şi cele cilindrice şi apoi se scot de pe rulou, dîndu-li-se prin presare forma aplatisată (fig. 25).

38. **Hîrtia pentru condensatoare.** Straturile izolante dintre armături se execută din hîrtie specială « de condensatoare », care este impregnată cu un dielectric lichid. Există două tipuri de hîrtie de condensatoare: hîrtie din cîrpe (cîlţi de lînă) şi hîrtie pe bază de sulfatceluloză. La început, la fabricarea condensatoarelor se folosea exclusiv hîrtia din cîrpe. Astăzi ea este aproape în întregime înlocuită cu hîrtia pe bază de sulfatceluloză care a ajuns să fie în exploatare mai sigură decît aceea din cîrpe. Fabricile de hîrtie livrează hîrtia de condensator sub formă de rulouri.

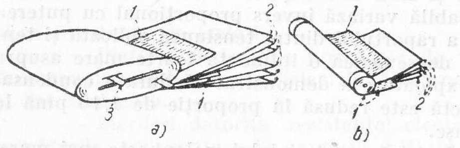


Fig. 25. — Execuţia secţiunilor de condensatoare în formă de rulou:
a — rulou aplatisat; *b* — rulou cilindric; *1* — armături din foiţe metalice; *2* — straturi de hîrtie; *3* — conductori de legătură.

În U.R.S.S., caracteristicile tehnice ale hîrtiei de condensatoare trebuie să corespundă cu GOST 1908-42. Acesta stabileşte şase dimensiuni de hîrtie cu grosimi între 7 şi 24 μ. Pentru condensatoare de forţă se foloseşte hîrtia cu grosimi între 7 şi 12 μ.

Hîrtia de condensatoare este cea mai subţire dintre toate tipurile de hîrtie. Acest lucru poate fi pus în evidenţă prin comparaţie cu foiţa de ţigare care are o grosime de 26 μ.

În ceea ce priveşte calităţile ei dielectrice cum şi alte caracteristice tehnice, hîrtia de condensatoare este superioară celorlalte calităţi de hîrtie.

Constanta dielectrică relativă a hîrtiei de condensatoare este de 5,5—6, iar tensiunea de străpungere este de cel puţin 300 V pentru o grosime de 10 μ. Din cauza acestor calităţi superioare şi grosimii ei reduse, costul pe kg al hîrtiei de condensatoare este foarte ridicat în comparaţie cu alte tipuri de hîrtie.

Numărul de straturi de hîrtie dintre armăturile condensatorului creşte cu tensiunea de funcţionare pentru care este prevăzută secţiunea. Totuşi, chiar în cazul condensatoarelor de joasă tensiune, numărul straturilor nu poate fi mai mic decît două, deoarece în cazul unui singur strat prezenţa oricărei particule conductoare în hîrtie ar provoca scurtcircuite între armături.

Din această cauză, pentru a se obţine o siguranţă mai mare în exploatare, de cele mai multe ori se folosesc 3—4 straturi de hîrtie.

39. **Impregnarea condensatoarelor.** Procesul fundamental şi specific în fabricarea condensatoarelor îl constituie operaţia de uscare şi de impregnare a hîrtiei.

Hîrtia de condensatoare conţine normal 4—7 % apă, care trebuie eliminată cît mai complet posibil, pentru ca condensatorul să aibă o durată de funcţionare cît mai lungă. Procesul uscării şi impregnării are ca scop îndepărtarea cît mai radicală a umezelii şi a aerului din hîrtie şi înlocuirea lor cu lichid de impregnare degazeificat cu îngrijire.

În acest scop este de dorit să se îndepărteze toată umezeala care nu este legată chimic de hîrtie. Uscarea hîrtiei se face după ce condensatorul a fost rulat, în aerul atmosferic, iar evacuarea aerului se face ulterior, sub un vid de circa 1—0,001 mm col. Hg, timp de cîteva ore pînă la cîteva zile. Spaţiul se umple apoi cu un dielectric lichid, care pătrunde în toate golurile rămase în hîrtie. Acest lichid măreşte pe de-o parte valoarea capacităţii condensatorului şi a tensiunii de străpungere şi înlesneşte pe de altă parte răcirea straturilor de hîrtie, transmiţînd pereţilor cutiei condensatorului energia calorică produsă.

O uscare şi o impregnare bună conduce la caracteristici stabile în ce priveşte capacitatea şi rigiditatea dielectrică a condensatorului şi micşorează unghiul de pierderi.

Pentru a se face impregnarea hîrtiei condensatorului, secţiunile din care este constituit sînt montate în rezervorul de tablă de oţel care este închis ermetic prin sudare. Se face apoi uscarea condensatorului printr-o preîncălzire sub un vid foarte înaintat, pentru a se îndepărta complet aerul din porii hîrtiei, care trebuie să fie umpluţi cu ulei prin impregnare.

După uscare se introduce treptat uleiul de impregnare purificat şi degazeificat în mod special fără a se distruge vidul. După terminarea impregnării condensatorului se măreşte treptat presiunea din rezervor pînă la presiunea atmosferică şi se opreşte preîncălzirea. Se procedează apoi la închiderea ermetică a rezervorului prin sudarea orificiilor rezervorului.

Pentru buna funcţionare a condensatoarelor închise ermetic se preferă forma rezervorului la care lungimea depăşeşte cu mult lăţimea (în raportul de circa 3,5 ori). Pereţii lungi ai rezervorului joacă rolul de diafragme elastice care permit variaţiile de temperatură ale volumului de ulei închis în rezervor fără a se influenţa asupra închiderii ermetice a rezervorului. Numai condensatoarele de puteri mari care conţin un volum relativ mare de ulei trebuie prevăzute cu camere de expansiune asemănătoare cu ale transformatoarelor statice, deoarece în acest caz este mult mai greu să se asigure închiderea ermetică a rezervorului în timpul variaţiilor de temperatură.

Impregnarea cu ulei mineral, a cărui constantă dielectrică este de 2,2, permite fabricarea de condensatoare de 0,001—50 μF într-o singură unitate. Rezistenţa de izolaţie la 25°C este de 10 000 MΩ · μF pentru tensiuni dela 100 V la 100 000 V în curent continuu şi dela 220 V la 12 000 V în curent alternativ. Factorul de putere la 1 000 Hz variază între 0,20—0,35 % la 25°C. La temperaturi mai înalte, el scade uşor şi apoi creşte din nou pînă la valoarea de 0,45 % la temperatura de circa 90°C.

Uleiul mineral de condensator este identic cu uleiul de transformator avînd însă o puritate mai ridicată.

Uleiul mineral prezintă însă următoarele dezavantaje pentru impregnarea condensatoarelor:

— Constanta dielectrică redusă (2,2).
— Temperatura de aprindere redusă (140°C).
— Degajare mare de căldură în caz de aprindere (10 000 kcal/kg).

40. **Condensatoare impregnate cu sovol.** Pentru a se evita inconvenientele uleiului mineral, la fabricarea condensatoarelor în U.R.S.S. se foloseşte astăzi pentru impregnare pentaclorifenilul, un dielectric sintetic neinflamabil denumit şi sovol.

Sovolul are următoarele avantaje pentru impregnarea condensatoarelor în comparaţie cu uleiul mineral:

— Constanta dielectrică mai ridicată (5,1).
— Constanta dielectrică a materialului de impregnare fiind apropiată de a hîrtiei (5,5—6), impregnarea cu sovol conduce la obţinerea unui dielectric mai omogen din punct de vedere electric decît impregnarea cu ulei mineral; repartiţia potenţialului în dielectric este mai uniformă şi siguranţa de funcţionare mai mare decît în cazul impregnării cu ulei.
— Constanta dielectrică a hîrtiei impregnate depinzînd atît de constanta dielectrică a hîrtiei cît şi a materialului de impregnare, este cu aproape 50 % mai ridicată în cazul impregnării cu sovol (5,5) faţă de impregnarea cu ulei (3,5). În consecinţă, pentru un acelaşi condensator, prin impregnare cu sovol capacitatea lui creşte cu aproape 50 % faţă de cazul impregnării cu ulei. La puteri egale, impregnarea cu sovol reduce cu o treime consumul specific de staniol şi de hîrtie de condensatoare.

— Sovolul este complet neinflamabil şi chiar în cazul acţiunii directe a flacării, el se descompune dar nu se aprinde.

Desavantajele sovolului constau în caracterul lui toxic şi în sensibilitatea lui ridicată faţă de impurităţi, ceeace creează complicaţii la fabricarea condensatoarelor.

Fabricarea condensatoarelor de hîrtie impregnate cu sovol nu se deosebeşte principial de fabricarea condensatoarelor impregnate cu ulei mineral. Singura diferenţă este că la impregnarea cu sovol trebuie să se respecte unele prescripţii speciale de tehnica securităţii datorită proprietăţilor lui toxice şi să se înlăture orice cauză care ar permite să se introducă impurităţi în sovol, deoarece cele mai neînsemnate urme de particule străine poate să înrăutăţească mult proprietăţile lui dielectrice.

41. **Condensatoarele impregnate cu alte materiale izolante.** Pentru unele tipuri de condensatoare de curenţi tari se poate folosi, ca lichid impregnant, uleiul de ricin hidrogenat sub forma unui produs plastic asemănător vaselinei sau siloxanurile lichide care au o rezistenţă mare la încălzire, în comparaţie cu uleiurile minerale (de transformatoare şi de condensatoare).

Uleiul de ricin, tratat special, are o constantă dielectrică de aproximativ 4,7 şi astfel reduce volumul condensatorului pe microfarad în comparaţie cu uleiul mineral. Se construiesc condensatoare de la 0,25—10 μF într-o unitate. Rezistenţa de izolaţie este de obicei de aproximativ 800 MΩ · μF la 25°C şi rareori depăşeşte 1 200. Unghiul de pierderi la 1 000 Hz, la 25°C, este de ordinul 0,6 %, iar la 60°C, de aproximativ 1 %.

Durata condensatoarelor cu hîrtie impregnată cu ulei mineral este între 10—20 ani, iar a celor impregnate cu ulei de ricin este dela 3—9 ani. La temperaturi înalte se produc modificări chimice care reduc foarte mult durata de funcţionare.

O altă substanţă impregnantă utilizată este difenilul clorurat, a cărui constantă dielectrică de 4,9 permite o reducere în volum de circa 25 % pe microfarad, faţă de condensatoarele impregnate cu ulei mineral.

Se fabrică unităţi de 0,05—50 μF. Marele lor inconvenient este că au variaţii mari de capacitate şi nu pot fi utilizate acolo unde se cer valori constante. În condiţii normale de temperatură şi de tensiune, durata este de aproximativ 10—20 ani.

Pentru impregnarea condensatoarelor de hîrtie se folosesc şi impregnanţi solizi şi anume: parafina şi în special naftalina clorurată, a cărei constantă dielectrică este 4,5. Impregnarea se face în vid, la temperatura de circa 110°C (punctul de topire al naftalinei clorurate este de circa 90°C). Astfel de condensatoare se fac în unităţi de 0,0005—10 μF. Din cauza structurii cristaline a materialului, nu este indicat să fie folosite la tensiuni înalte. Rezistenţa de izolaţie este de 8 000 MΩ·μF la 25°C. Unghiul de pierderi este de 0,6 % la 1 000 Hz şi 25°C şi creşte la 3,5 % pentru 70°C. Durata de funcţionare este de 5—10 ani.

42. **Consideraţii generale asupra fabricării condensatoarelor cu hîrtie impregnată.** În concluzie, tehnologia fabricării condensatoarelor cu hîrtie impregnată este relativ simplă în principiu şi relativ asemănătoare cu tehnologia fabricării de cabluri subterane izolate cu hîrtie impregnată. Din punct de vedere practic, însă, ea necesită o respectare absolut riguroasă a prescripţiilor privitoare la procesul tehnologic şi în special a vidului înaintat la uscarea şi impregnarea condensatoarelor. Este deasemenea necesară menţinerea unei curăţenii desăvîrşite în operaţiile de înfăşurare a straturilor de hîrtie şi staniol şi de asamblare a condensatorului. De aceea este recomandabil ca în încăperile în care se fac aceste operaţii să se folosească instalaţii de aer condiţionat care să menţină puritatea, temperatura şi umiditatea aerului în limite admisibile.

O importanţă deosebită în fabricaţie prezintă de asemenea controlul riguros al calităţii hîrtiei cum şi pregătirea (purificarea şi degazeificarea) dielectricului lichid înaintea impregnării.

În condensatoarele cu hîrtie impregnată, siguranţa de funcţionare depinde de etanşeitatea construcţiei, deoarece pătrunderea aerului şi a umezelii micşorează proprietăţile dielectrice ale substanţei de impregnare. Izolatorii, utilizaţi în mod obişnuit, care se montează pe garnituri de cauciuc sau de plută impregnată cu lac de gliptal nu asigură o etanşare completă. Cînd se întrebuinţează sovolul, nu se pot utiliza garnituri de cauciuc. De aceea se impune folosirea de izolatori de porţelan, metalizaţi şi fixaţi prin lipire la capacul condensatorului.

Principalele caracteristici tehnice ale condensatoarelor fabricate în U.R.S.S., sînt indicate în tabela 8.

Din examinarea acestor date se constată că pentru condensatoarele de înaltă tensiune de 3 kV, 6 kV şi 10 kV atît greutatea pe kvar cît şi preţul pe kvar sînt

Tabela 8. Caracteristicile tehnice ale unor condensatoare fabricate în U.R.S.S.

Tipul	Nr. de faze	Tensiunea nominală V	Puterea la 50 Hz kvar	Curentul A	Capacitatea μF	Greutatea totală kg	Greutate pe kvar kg	Raport de preţ faţă de condensatoarele de 10 000 V
KM—0,22—3—3	3	220	3,3	8,8	220	23	7,00	5
KM—0,38—5—3	3	380	5,0	7,5	110	22	4,40	3
KM—0,5—8—3	3	500	8,6	10,0	110	22	2,56	1,9
KM—3—10—1	1	3000	10,0	3,3	3,55	23	2,30	1
KM—6—10—1	1	6000	10,0	1,7	0,89	24	2,40	1
KM—10—10—1	1	10000	10,0	1,0	0,32	25	2,50	1

aceleaşi, deoarece la construcţia lor se folosesc aceleaşi tipuri de secţiuni montate în serie, în număr cu atît mai mare cu cît tensiunea este mai ridicată.

Dimpotrivă, pentru condensatoarele de joasă tensiune (220 V, 380 V şi 550 V) se constată o importantă creştere a greutăţii pe kvar pe măsura scăderii tensiunii. Această creştere se explică printr-un consum mai mare de materiale, din cauza necesităţii de a folosi coeficienţi de siguranţă mai mari datorită dificultăţii de a se obţine un dielectric perfect uniform în straturi prea subţiri.

De asemenea se constată o creştere şi mai importantă a preţului pe kvar al condensatoarelor pe măsura scăderii tensiunii, fapt care se explică prin necesitatea utilizării unei hîrtii mai subţiri şi deci mai scumpe cu cît tensiunea este mai redusă.

f) Principalele tipuri de condensatoare după principiul de construcţie

43. **Condensatoare cu vid.** Vidul avînd constanta dielectrică mică, şi anume 1, condensatoarele cu vid au capacitatea limitată la valori care nu depăşesc 0,001 μF.

Aceste condensatoare sînt construite într-un înveliş de sticlă cu bornele la capetele opuse. Armăturile sînt construite de obicei din cilindri de cupru. Condensatoarele variabile sînt prevăzute cu un complex de armături într-un burduf flexibil, pentru a permite variaţia distanţei dintre armături.

Tensiunile pentru care se construiesc aceste condensatoare se ridică pînă la 50 kV, iar curenţii, pînă la 100 A. Curentul de scurgere este foarte mic. Unghiul de pierderi la radiofrecvenţe este de ordinul a 0,02 % şi este datorit numai pierderilor prin curenţi turbionari (Foucault) şi pierderilor ohmice în armături şi în conductorii de legătură.

Durata lor de funcţionare este practic infinită, dacă se menţine vidul. Dacă aerul pătrunde în condensator, dielectricul este străpuns şi armăturile sînt arse de arcul produs.

44. **Condensatoare cu aer.** Constanta dielectrică a aerului şi a celor mai multe gaze, în condiţiile normale, la temperaturi de 0°C şi la presiunea de 1 at este foarte

aproape de unitate (la 1 at presiune pentru aer este de 1,00059; pentru bioxidul de carbon: 1,00095; la 40 at presiune, aceste valori sînt, respectiv, de 1,0218 şi 1,060).

Din această cauză capacitatea condensatoarelor cu aer şi gaze este limitată, deobicei, la valori care nu depăşesc 0,01 μF.

Tensiunile nominale pentru care se construiesc astfel de condensatoare sînt de 5 kV, pentru condensatoare mari, şi 50 kV pentru condensatoare mici. Rezistenţa de izolaţie a acestor condensatoare este foarte mare la tensiuni sub tensiunea critică de apariţie a efectului corona. La frecvenţe joase (audio) unghiul de pierderi depăşeşte rareori 0,006 %; la radiofrecvenţe sau la frecvenţe mai înalte el poate atinge valoarea de 0,02 %, datorită pierderilor sporite prin curenţi turbionari în armături şi borne. Durata lor de serviciu este teoretic infinită. Practic însă, durata de funcţionare este de circa cinci ani. Condensatoarele cu aer sînt folosite frecvent în tehnica curenţilor de înaltă frecvenţă sub formă de condensatoare variabile şi reglabile.

45. **Condensatoare cu ulei.** Condensatoarele cu ulei sînt construite ca şi condensatoarele cu aer, cu deosebirea că sînt aşezate într-o cuvă prevăzută cu borne etanşe (fig 24). Întregul ansamblu se umple, deobicei, în vid, cu ulei mineral, special rafinat. Uleiul măreşte capacitatea faţă de aer de 2,2 ori. Uleiul elimină efectul corona şi măreşte durata de funcţionare pînă la 5–10 ori faţă de aceea a condensatoarelor cu aer.

Capacităţile sînt limitate, în general, la valori sub 0,05 μF; tensiunile nominale pentru condensatoare mici se pot ridica la 100 kV. Unghiul de pierderi este de ordinul a 0,006 %. Durata probabilă de funcţionare este de 20 de ani.

46. **Condensatoare cu mică.** Datorită marilor sale calităţi, mica este unul dintre cei mai potriviţi dielectrici pentru condensatoare.

Constanta dielectrică a sorturilor de mică folosite pentru condensatoare variază între 6,5 şi 8,5; întrucît foiţa de mică poate fi obţinută în grosimi pînă la 1 mm, se realizează o gamă de condensatoare de la 1 pF, pînă la 1 μF, cu toleranţa de ± 20 %, pentru valorile mici, şi de ± 1 %, pentru valorile mai mari. Se pot construi şi condensatoare mai mari, dar sînt costisitoare.

Condensatoarele se fabrică cu foiţă de mică în grosimi de la 0,02 – 0,1 mm. Armăturile sînt din foi de plumb cositorit sau din foi de cupru groase 6–50 μ; se mai fac şi din argint depus chimic sau spriţuit.

Pachetul alternînd din foi de mică şi de plumb cositorit, este strîns la presă, pentru a asigura un contact cît mai bun cu putinţă între suprafeţe, pentru a elimina aerul şi pentru a împiedica variaţii mari ale capacităţii, datorite dilataţiei termice.

Unităţile mici sînt montate în bachelită, ca protecţie împotriva umidităţii aerului şi avariilor mecanice şi se utilizează în circuitele de radio, mai ales în aparatele de recepţie. Unităţile mai mari sînt montate în cutii de bachelită, de porţelan, de steatită sau de aluminiu. Condensatoarele de putere mare sînt construite din unităţi mai mici, legate în serie-paralel. Acestea se utilizează în tehnica curenţilor de înaltă frecvenţă, în posturi de emisie, instalaţii de încălzire cu înaltă frecvenţă etc.

Condensatoarele cu mică se mai fabrică şi sub forma de condensatoare variabile, armăturile fixe fiind căptuşite cu foiţe de mică, iar cele mobile pătrunzînd între acestea.

Trimerii — condensatoarele reglabile — cu mică se fac din două lamele metalice, separate printr-o foiţă de mică. Una dintre lamele este fixă, iar cealaltă poate fi apropiată sau distanţată de foiţa de mică, datorită elasticităţii sale, cu ajutorul unui şurub. Aceste condensatoarele sînt folosite frecvent în circuitele aparatelor de radio.

Valorile nominale ale tensiunii variază între 500 şi 75 000 V pentru curent continuu; în curent alternativ, la frecvenţe pînă la 10 MHz, valoarea nominală a

tensiunii poate ajunge pînă la 40 000 V. Rezistenţa de izolaţie a dielectricului este foarte mare. Unghiul de pierderi la temperatura ambiantă este bun; la 1 kHz el este de 0,1 % sau mai puţin, scăzînd aproximativ pînă la 0,02 %, la 1 MHz, şi crescînd la 0,1 % şi chiar mai mult, la frecvenţe care depăşesc 20 MHz. La 70°C, unghiul de pierderi este aproximativ dublu celui de la 25°C. Durata de funcţionare, în condiţii normale, este de ordinul 10 pînă la 50 de ani.

47. **Condensatoare ceramice.** Condensatoarele ceramice utilizează plăci din materiale ceramice făcute în special din amestecuri de oxid de titan cu alţi titanaţi. Constantele dielectrice variază între 6 şi 110. Unele produse ceramice speciale au constante dielectrice care se ridică pînă la 8 000.

Condensatoarele ceramice se construiesc de obicei în formă de disc, de cupă sau tubulare. Armăturile se formează pe suprafaţa lor prin stropire cu cupru sau prin depunere de argint, de care se leagă prin sudură capetele conductorilor de legătură de cupru.

Pentru a împiedica formarea de pelicule de umezeală şi pentru a preveni formarea arcurilor de conturnare, condensatorul este protejat cu un înveliş complet de răşină sintetică sau cu un înveliş de ceramică.

Se pot obţine condensatoare cu mărimi de circa 0,015 μF, deşi majoritatea acestor condensatoare sînt construite pentru capacităţi între 50 şi 500 pF.

Rezistenţa de izolaţie la temperatura de 25°C, este de ordinul a 10 000 – 50 000 MΩ · μF.

Unghiul de pierderi la 1 MHz variază între 0,05 şi 0,10 %; la frecvenţa de 50 MHz el scade pînă la 0,03 – 0,08 %. La valorile nominale ale tensiunii, durata condensatorului este practic infinită. Totuşi unghiul de pierderi şi rezistenţa de izolaţie pot să varieze, dacă umezeala se condensează pe suprafeţe.

Se construiesc condensatoare ceramice şi din plăci de cupru, separate între ele prin plăci ceramice, asamblate cu şuruburi.

Condensatoarele ceramice sînt utilizate în tehnica curenţilor de înaltă frecvenţă (posturi de emisie, cuptoare pentru încălzire cu înaltă frecvenţă etc.).

48. **Condensatoare cu hîrtie impregnată.** (A se vedea § 37...42).

49. **Condensatoare cu hîrtie metalizată.** Condensatoare cu hîrtie metalizată, cunoscute şi sub denumirea de condensatoare M.P., se caracterizează printr-o siguranţă mare în exploatare şi printr-un preţ de cost redus. Aceste condensatoare se fabrică realizînd armăturile prin metalizarea unor benzi de hîrtie, prin procedeele arătate în § 32.

Dat fiind că în caz de străpungere a dielectricului, curentul de scurtcircuit provoacă o volatilizare a armăturilor în jurul punctului de străpungere, această înlăturare automată a pericolului de defectare a condensatorului permite mărirea valorii de lucru a intensităţii cîmpului electric în condensator. Consecinţa imediată a acestui fapt constă în reducerea volumului specific al condensatoarelor, în comparaţie cu cele obişnuite. În tabela 9 sînt indicate principalele caracteristici ale elementelor din care se fabrică condensatoarele cu hîrtie metalizată.

Tabela 9. Caracteristicile elementelor din care se fabrică condensatoarele M.P.

Caracteristica	Valoarea
Grosimea hîrtiei metalizate	8–15
Metalul	Zinc
Grosimea stratului de metal	0,07–0,10 μ
Cantitatea de metal pe unitatea de suprafaţă a hîrtiei	0,05–0,07 mg/cm²
Rezistenţa ohmică specifică superficială a stratului, ρ_s	0,95–1,25 Ω/cm
Rezistenţa dinamică la rupere	peste 1000 kg/cm²
Rezistenţa de izolaţie specifică (volumetrică) a hîrtiei ρ_v	peste 8×10^{13} Ω · cm

Rezistenţa mecanică a hîrtiei pentru aceste condensatoare trebuie să fie bună, pentru ca energia care se desvoltă în cazul unei străpungeri să nu provoace deteriorări mari în dielectric.

Metodele moderne de fabricare a condensatoarelor cu hîrtie metalizată constau în acoperirea hîrtiei cu un lac înainte de metalizare şi apoi în aplicarea principiului vaporizării în vid a metalului conductor (zincul). Datorită acestor metode s-au putut reduce de patru-cinci ori dimensiunile acestor condensatoare deoarece, prin lăcuire, se îmbunătăţeşte mult rezistenţa de izolaţie specifică a hîrtiei: particulele semiconductoare din hîrtie sînt izolate, iar orificiile din hîrtie sînt astupate. În plus, procesul de lăcuire micşorează posibilitatea de coroziune a stratului metalic, ca urmare a umidităţii permanente din hîrtie, sau a adausurilor de substanţe dăunătoare conţinute în hîrtie. Grosimea stratului de lac este de aproximativ un micron, iar lacul utilizat curent este de acetilceluloză cu o viscozitate 60—100°E.

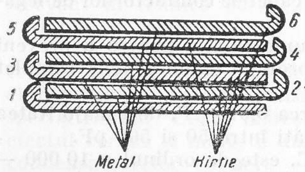


Fig. 26. — Asamblarea benzilor la condensatoarele cu hîrtie metalizată

Metalizarea benzilor de hîrtie cu zinc dă rezultate bune, dacă în prealabil se creează un « substrat » dintr-un metal care fierbe la o temperatură mai înaltă, ca de exemplu argintul sau staniolul. Grosimea substratului constituie 0,1—1 % din grosimea stratului conductor de pe hîrtie. De aceea instalaţiile de metalizare au două instalaţii de vaporizatoare: una pregătitoare care creează substratul, şi alta principală, care depune stratul metalic propriuzis.

Benzile metalizate numai pe o parte, se asamblează prin rulare, ca şi la condensatoarele obişnuite, sau ca în fig. 26.

Legăturile dintre diferite porţiuni de benzi care alcătuiesc o armătură se fac prin spriţuirea sau vaporizarea unui aliaj de plumb şi zinc, sau numai zinc, pe părţile metalizate în contact (*1* cu *3* cu *5* şi *2* cu *4* cu *6*).

Se obţin astfel unităţi rigide, care urmează să fie apoi impregnate. Impregnarea se face ca şi la condensatoarele cu hîrtie obişnuită, cu observaţia că materialele de impregnare pe bază de clor nu sînt admise, din cauza pericolului de coroziune.

Aceste condensatoare pot fi închise în cutii de aluminiu, în unităţi de 8—10 μF — 250 V, cînd sînt utilizate în tehnica telecomunicaţiilor, sau pot fi asamblate în unităţi mari, de 30 kVA şi mai mult şi la tensiuni de 220 V şi 50 Hz, pentru utilizări în tehnica curenţilor tari: filtre, pornirea motoarelor asincrone monofazate şi ameliorarea factorului de putere. Toleranţele pentru valorile capacităţii sînt mai mari la aceste condensatoare, decît la cele fabricate din foiţe metalice: $\pm$ 20 % în loc de $\pm$ 10 %.

50. **Condensatoare cu dielectrici sintetici.** Deşi hîrtia impregnată constituie unul dintre dielectricii cei mai utilizaţi în construcţia condensatoarelor electrice, ea nu poate fi privită totuşi ca un dielectric ideal. Hîrtia este un produs natural, rezultatul unei prelucrări simple a unei materii prime organice (lemnul) care are deci o structură neomogenă, determinată de condiţiile de desvoltare a unor celule vii. Deaceea structura hîrtiei apare şi ea neomogenă, iar ca urmare a acestui fapt, rigiditatea ei dielectrică nu este uniformă în toate punctele de pe suprafaţa ei.

Hîrtia impregnată se caracterizează printr-o stabilitate chimică şi termică insuficientă. Temperatura maximă de lucru a condensatoarelor cu hîrtie atinge cifra de 105—115°C iar temperatura cea mai joasă nu depăşeşte — 40°C.

Lipsa de omogenitate a hîrtiei şi îmbătrînirea ei limitează valoarea intensităţii cîmpului la circa 10—30 kV/mm, deşi rigiditatea dielectrică a hîrtiei la încercări rapide atinge valori de 100—300 kV/mm.

În sfîrşit, un desavantaj esenţial al hîrtiei îl constituie unghiul de pierderi relativ mare, care creşte mult cu frecvenţa, ceea ce exclude posibilitatea de utilizare a condensatoarelor cu hîrtie la puteri mari în înaltă frecvenţă şi creiază dificultăţi chiar în cazul funcţionării sub tensiune continuă cu o componentă alternativă de frecvenţă mai înaltă.

Produsele sintetice fabricate din substanţe macromoleculare, utilizate sub formă de pelicule, constituie cel mai bun înlocuitor.

Chimia modernă a substanţelor macromoleculare a atins un grad înaintat de desvoltare şi obţine mereu noi realizări importante.

Astăzi se pot fabrica pelicule subţiri sub formă de rulouri cu rezistenţă mecanică şi cu calităţi electroizolante bune.

Industria condensatoarelor a trecut la utilizarea benzilor de polistirol-stiroflex, iar rezultatele obţinute sînt bune.

Condensatoarele cu polistirol sînt mai robuste, mai stabile şi au unghiul de pierderi mai mic decît condensatoarele cu hîrtie.

Un avantaj important al condensatoarelor cu polistirol îl constituie faptul că ele pot fi utilizate într-o gamă largă de temperaturi în domeniul temperaturilor sub zero. În privinţa temperaturilor înalte însă, ele sînt inferioare celor cu hîrtie, întrucît nu pot fi utilizate la temperaturi superioare celei de + 70°C.

De asemenea şi rigiditatea dielectrică a polistirolului este inferioară hîrtiei şi de aceea volumul specific al condensatoarelor cu polistirol este mai mare.

Pentru aceste motive, condensatoarele cu polistirol nu pot substitui condensatoarele cu hîrtie decît în cazuri cînd se cer capacităţi normale mari şi valori mici ale tensiunii de lucru.

Condensatoarele cu polistirol au o rezistenţă de izolaţie extrem de ridicată şi pierderi dielectrice foarte reduse.

Din aceste motive ele sînt recomandate în special pentru aplicaţiile în care o anumită sarcină electrică trebuie să fie înmagazinată pentru un timp mai îndelungat, cum este cazul măsurătorilor sarcinilor electrice, măsurătorilor de intensitate a benzilor de spectroscopie şi, în general, pentru toate aplicaţiile la care este necesar a se obţine întreaga sarcină a condensatorului într-un timp scurt.

Durata de viaţă a condensatoarelor cu polistirol este mai mare de 10 ani şi poate depăşi chiar 20.

Ele nu au afinitate pentru umiditate, ca hîrtia sau alţi dielectrici.

Există şi alte pelicule sintetice care au rigiditatea dielectrică mai mare decît a polistirolului; în schimb, au un unghi de pierderi mare. Aceste pelicule — « Plasticon » — sînt astăzi utilizate în construcţia condensatoarelor cu capacitatea 1 — 8 μF, pentru tensiuni de 0,6 — 10 kV. Volumul lor specific este mai mic decît al condensatoarelor cu hîrtie şi pot înlocui pe acestea atunci cînd se cere o temperatură de lucru mai înaltă şi un volum redus al condensatoarelor.

Pentru tensiuni de lucru de 10 kV, volumul specific al condensatoarelor de tip « Plasticon » este de opt — zece ori mai mic decît cel al condensatoarelor cu hîrtie, iar gama lor de temperaturi de lucru este cuprinsă între —60 şi +125 °C, deci mai largă decît a condensatoarelor cu hîrtie.

La fabricarea condensatoarelor, peliculele sintetice pot fi folosite deci, în anumite condiţii, în locul hîrtiei impregnate. Este de observat că materialele sintetice, spre deosebire de cele naturale, pot fi fabricate foarte omogen şi cu proprietăţi precise, exprimate prin aceleaşi valori numerice, ceea ce constituie un mare avantaj faţă de hîrtia de condensator.

Posibilităţile actuale nelimitate ale chimiei moderne de sinteză a combinaţiilor organice creează perspective deosebite pentru fabricarea de tipuri noi de pelicule cu diferite proprietăţi necesare industriei de condensatoare.

Totuşi, în prezent, condensatoarele cu hîrtie se folosesc mult, atît în tehnica curenţilor slabi, cît şi în tehnica curenţilor tari. Desvoltarea fabricării lor pentru necesităţile actuale constituie o sarcină importantă, în măsura în care înlocuirea hîrtiei de condensator cu materiale sintetice nu este încă posibilă.

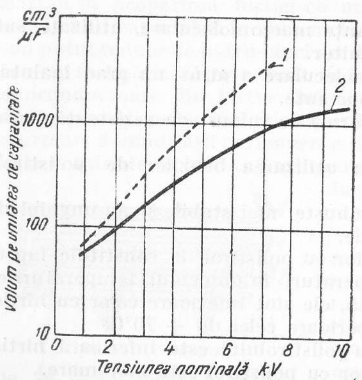


Fig. 27. — Variaţia volumului specific (calculat pe unitatea de capacitate), în funcţie de tensiunea de lucru:
1 — condensator cu hîrtie impregnată cu masă fluidă; *2* — condensator de tip « Plasticon ».

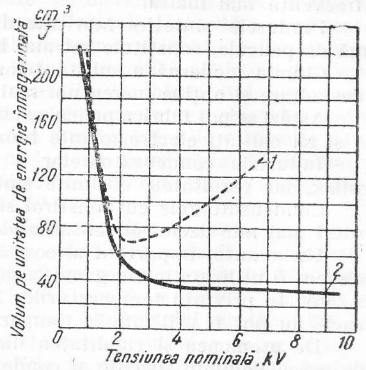


Fig. 28. — Variaţia volumului specific (calculat pe unitatea de energie înmagazinată, pe un joule), în funcţie de tensiunea de lucru:
1 — condensator cu hîrtie impregnată cu material lichid; *2* — condensator de tip « Plasticon ».

51. **Condensatoare electrolitice.** Condensatoarele electrolitice se caracterizează prin aceea că sînt polarizate, adică unul dintre electrozi (anodul) se conectează totdeauna la polul pozitiv al unei surse electrice, şi celălalt (catodul) la polul negativ.

Principial, condensatorul electrolitic este format dintr-o bandă de aluminiu, acoperită pe cale electrochimică cu un strat foarte subţire de oxid de aluminiu; totul este aşezat într-un vas metalic obişnuit, tot din aluminiu, umplut cu un lichid bun conducător de electricitate (electrolit), conform fig. 29.

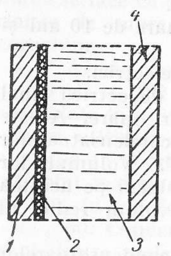


Fig. 29. — Dispoziţia constructivă a condensatoarelor electrolitice:
1 — bandă de aluminiu; *2* — strat de oxid; *3* — electrolit; *4* — peretele vasului metalic (catod).

Banda oxidată care constituie anodul formează una dintre armăturile condensatorului. Stratul de oxid foarte subţire formează dielectricul a cărui constantă dielectrică este aproximativ 7, iar electrolitul formează cealaltă armătură. Cutia serveşte ca să facă contactul cu această a doua armătură. În caz de străpungere a stratului de oxid, din cauza unei supratensiuni, acesta se reface, dacă tensiunea scade din nou la valoarea nominală.

Condensatoarele electrolitice se fabrică şi sub formă « uscată », cînd electrolitul este impregnat într-o fişie de hîrtie absorbantă, aşezată peste anod; catodul este o altă fişie, foarte subţire de aluminiu sau de staniol, care se aşează peste hîrtia impregnată şi tot pachetul este bobinat şi închis într-o cutie cilindrică, de carton, ale cărei capete sînt smolite. Bornele condensatorului sînt două bucăţi de sîrmă, introduse în timpul bobinării condensatorului, în contact cu cele două benzi metalice, şi care ies prin cele două funduri ale cutiei. Borna + este notată pe cutie.

Tensiunea de lucru a acestor condensatoare depinde de grosimea stratului de oxid (dielectric), iar capacitatea, de suprafaţa anodului. Aceste condensatoare pot fi fabricate pentru tensiuni de 1 000 V, însă în mod curent se fabrică pentru tensiuni de lucru de circa 500 V, putînd suporta şi o componentă de tensiune alternativă de 10 %.

Condensatoarele electrolitice se fabrică în unităţi elementare de 8—50 μF şi sînt utilizate în special la filtrarea tensiunilor redresate pentru alimentarea cu curent continuu a instalaţiilor de joasă tensiune (aparate de telecomunicaţii, etc). Pot fi utilizate şi în instalaţiile pentru înmagazinarea energiei electrice, de exemplu la aparatele electromedicale pentru electroşocuri.

Datorită faptului că, într-un volum redus, condensatoarele electrolitice au o capacitate mare, preţul pe microfarad este redus. În schimb, unul din desavantajele acestor condensatoare constă în faptul că prezintă un unghi de pierderi mai mare decît al celorlalte condensatoare şi un curent de scurgere important. Normele internaţionale limitează acest curent la 0,35 μA/μF·V sau mai mult, dacă curentul total este sub 0,1 mA.

g) **Principalele tipuri de condensatoare după domeniul de utilizare**

52. **Condensatoare pentru îmbunătăţirea factorului de putere.** Condensatoarele pentru îmbunătăţirea factorului de putere şi pentru pornirea motoarelor asincrone monofazate se fabrică în prezent în unităţi de 5—10—15—40 kVA, pentru una, două sau trei faze, cu tensiuni nominale de 250—10 000 V, potrivit tensiunilor folosite în reţelele electrice.

Montarea lor se face chiar la bornele maşinilor consumatoare de energie reactivă sau la tabloul secundar, în care caz se folosesc condensatoare de tensiune joasă sau — mai bine — la punctele de alimentare a marilor consumatori, cînd conectarea lor se face pe partea de înaltă tensiune.

Pe de altă parte, condensatoarele de joasă tensiune sînt mai costisitoare pentru aceeaşi putere — din cauza preţului mai ridicat al hîrtiei subţiri şi din cauza consumului specific de hîrtie mai mare şi, în acelaşi timp, sînt mai puţin sigure din cauza subţirimii excesive a straturilor de hîrtie; deasemenea trebuie luate măsuri de precauţie în vederea răcirii lor.

Condensatoarele de puteri mari, care conţin un volum mare de ulei, trebuie prevăzute cu rezervoare de expansiune, asemănătoare cu ale transformatoarelor statice, pentru a evita deteriorări provocate de dilatarea uleiului din cauza variaţiilor de temperatură.

Unităţile mai mari, de ordinul a 100 kVA trebuie fabricate individual, în condiţii speciale.

Pentru tensiuni mai înalte de 10 kV se utilizează baterii de condensatoare legate în serie.

Unităţile mici care se conectează în apropierea consumatorilor de energie reactivă sînt prevăzute cu o rezistenţă internă, care consumă cîţiva miliamperi, dar care descarcă condensatorul în cîteva minute, atunci cînd el a fost deconectat.

Toate condensatoarele pentru ameliorarea factorului de putere sînt proiectate pentru a putea rezista la supratensiuni de 15 %, fără ca să li se reducă durata de funcţionare. De asemenea, secţiunile de condensatoare care constituie unităţile de joasă tensiune, 220—380—500 V, în special, sînt legate în paralel prin fire fuzibile aşezate în interiorul condensatorului pentru a nu scoate din funcţiune decît secţiunea defectă, în cazul unui scurtcircuit provocat de o străpungere locală.

53. **Condensatoare pentru telefonie prin curenţi purtători pe liniile de înaltă tensiune.** Condensatoarele pentru telefonie pe linie de înaltă tensiune sînt

destinate instalaţiilor de transport de energie, de 110—220 kV, şi servesc la separarea tensiunii înalte din liniile de transport cu frecvenţă industrială, de aparatajul destinat telegrafiei, telefoniei şi mijloacelor de protecţie; ele asigură, în acelaşi timp, şi securitatea personalului care deserveşte instalaţia.

Condensatorul opune o rezistenţă foarte mare la trecerea curentului de frecvenţă industrială, nepermiţînd, practic, trecerea lui. Pentru realizarea telecomunicaţiilor şi a protecţiei, se foloseşte un aparataj care funcţionează cu frecvenţe cuprinse între 50—300 kHz. Condensatorul, legat în serie cu o inductanţă, formează un circuit acordat pe una din frecvenţele indicate mai sus şi astfel se asigură trecerea curentului de lucru al instalaţiei de telecomunicaţii sau de protecţie. Aceste condensatoare, care se găsesc în permanenţă sub o tensiune înaltă de frecvenţă industrială, se calculează pentru funcţionarea simultană şi la înaltă frecvenţă.

Pentru a asigura o funcţionare corectă a aparatajului de telecomunicaţii, capacitatea condensatorului trebuie să fie practic constantă la variaţiile de temperatură şi de frecvenţă. În cazul instalaţiilor exterioare, pe lîngă acţiunea supratensiunilor, aceste condensatoare sînt supuse la acţiunea agenţilor atmosferici, astfel încît izolaţia lor trebuie să fie de calitate corespunzătoare, dealtfel ca şi a celorlalte aparate ale substaţiilor care lucrează în aer liber.

Toate caracteristicile de mai sus, împreună cu necesitatea de a obţine o inductanţă proprie cît mai mică, complică construcţia acestor condensatoare şi măresc preţul lor de cost. Tendinţa actuală este de a fabrica numai unităţi de 110 kV şi a le monta în serie pentru tensiunea de 220 kV. În acest fel se asigură o elasticitate mai mare în utilizarea elementelor, atît pentru liniile de 220 kV cît şi pentru cele de 110 kV, reducîndu-se astfel rezerva necesară.

54. **Condensatoare de filtraj.** Condensatoarele de înaltă tensiune sînt necesare şi pentru funcţionarea instalaţiilor de redresare de înaltă tensiune, a generatoarelor de curent continuu, legate în cascadă, a instalaţiilor de încercare, a microscoapelor electronice, a instalaţiilor de raze X, de radiocomunicaţii etc. Deobicei, aceste condensatoare sînt destinate să funcţioneze sub o tensiune de formă ondulată, adică sub tensiune continuă, peste care se suprapune o componentă alternativă. Rolul lor este de a filtra această tensiune de componenta alternativă, care determină un curent alternativ, condus prin condensator la pămînt. Prescripţiile sovietice prevăd că mărimea efectivă a componentei alternative nu trebuie să depăşească un anumit procent — funcţie de frecvenţă — din valoarea componentei tensiunii continue. Aceste valori sînt date în tabela 10.

Tabela 10. Valorile componentei alternative ale tensiunii la condensatoarele de filtraj

Frecvenţa componentei alternative, în Hz	Procentul admisibil al valorii componentei alternative a tensiunii %
pînă la 50	10
de la 50—300	4
de la 300—2000	1,5
de la 2000—10000	0,7

Componenta alternativă a tensiunii determină încălzirea condensatorului şi, în cazuri speciale, ea poate fi totuşi mult mai mare. Aceste cazuri sînt: filtrele substaţiilor de tracţiune electrică, filtrele instalaţiilor de comutare pentru transportul curentului continuu de înaltă tensiune etc.

Astfel, condensatoarele care lucrează în schemele de comutare ale liniilor de transport de curent continuu, funcţionează la o tensiune înaltă de circa 100 kV, peste care se suprapune simultan o componentă de tensiune alternativă de 40 kV. Tensiunea de încercare a acestor condensatoare este de 250 kV.

În ultimul timp, aceste condensatoare se construiesc în corpuri de bachelită, ceeace reduce mult greutatea şi volumul lor.

În U.R.S.S. s-au fabricat condensatoare de 300 kV, cu o capacitate de 0,0125 μF, în unităţi cilindrice al căror diametru este de 0,250 m, şi a căror înălţime este de numai 1 m.

55. **Condensatoare pentru încălzire cu curenţi de înaltă frecvenţă.** Instalaţiile pentru topire, încălzire şi călire cu curenţi de înaltă frecvenţă prin inducţie, necesită condensatoare care să poată funcţiona la frecvenţe de 1 000—600 000 Hz şi la tensiuni de 1 000—5 000 V în unităţi pînă la 150 kVA.

Aceste condensatoare sînt proiectate cu pierderi ohmice foarte reduse, atît în legăturile interioare, cît şi în armături.

Problema reducerii volumului condensatoarelor a impus răcirea forţată a lor, fie cu apă, fie cu ulei.

În U.R.S.S. s-a adoptat un sistem de răcire forţată cu apă, utilizîndu-se pereţi dubli pentru corpurile condensatoarelor. Acest procedeu permite ca sistemele de răcire a două—trei condensatoare să fie legate în serie, nu necesită o curăţire specială a apei şi nici o presiune prea mare a ei şi reduce mult greutatea condensatoarelor. Totuşi, aceste condensatoare sînt proiectate cu un mare coeficient de siguranţă, din cauza temperaturii interioare ridicate.

Dielectricul utilizat este de hîrtie specială, impregnată cu ulei mineral sau cu difenil clorurat. Impregnarea condensatorului cu sovol, în locul uleiului mineral, permite ca, între anumite limite de frecvenţă, să se mărească puterea cu 30—40 %, dimensiunile rămînînd aceleaşi.

Se mai utilizează ca dielectric şi mica (uneori în baie de ulei pentru răcire) sau dielectrici ceramici.

56. **Condensatoare pentru înmagazinarea energiei.** În anumite împrejurări ca, de exemplu, la sudarea aluminiului, la raze X, la surse de lumină fotografică, în electroterapeutică (electroşocuri), se întrebuinţează condensatoare mari, care se încarcă într-un timp mai mult sau mai puţin scurt, dar cărora li se cere să debiteze sarcina aproape instantaneu. Astfel de tipuri nu sînt calculate cu un factor de siguranţă mare, pentrucă, în general, serviciul este intermitent şi nu se produc temperaturi interioare înalte. Dielectricii utilizaţi sînt uleiul mineral, hîrtia specială impregnată cu ulei mineral sau cu clorură de difenil, sau celuloză regenerată.

57. **Condensatoare tropicale.** Condensatoarele sînt construite astfel, încît nu-şi schimbă caracteristicile sub acţiunea combinată a temperaturii înalte şi a umezelii mediului ambiant. Aceste condensatoare, utilizate în diferite scopuri, pot avea dielectric mică, hîrtie sau pot fi chiar condensatoare electrolitice şi sînt incorporate într-un bloc compact de material nehigroscopic.

Astfel de condensatoare nu numai că pot rezista nelimitat într-un mediu cu climă tropicală, dar pot să suporte cufundarea în apă şi lungi perioade de căldură sau de frig.

Aceste condensatoare sînt utilizate în instalaţiile aeronautice sau maritime.

D. Magneţi şi electromagneţi

a) Generalităţi

58. **Definiţii.** În electrotehnică au o mare întrebuinţare magneţii şi mai ales electromagneţii.

Magnetul este un corp care are magnetizare remanentă, naturală sau dobîndită printr-un procedeu tehnic.

Electromagnetul este un dispozitiv avînd un miez dintr-un material cu permeabilitate magnetică mare, a cărui magnetizare se datoreşte unui curent electric care străbate un bobinaj înfăşurat peste miez.

Electromagneții pot avea două scopuri:

— să producă un cîmp magnetic intens într-o anumită regiune a spațiului (întrefier): *aceștia sînt electromagneții ficși;*

— să producă un lucru mecanic prin *deformarea* sistemului magnetic; *aceștia sînt electromagneții deformabili*, de care se ocupă acest subcapitol.

Electromagneții ficși sînt de două feluri:

— cu dispersiune de cîmp, la care inducția în întrefier este de 10—12000 gauși; electromagneții cei mai mari de acest tip s-au construit pentru ciclotroane;

— cu concentrare de flux, la care inducția în întrefier este cu mult mai mare; ca exemplu este de citat un electromagnet de acest tip care produce un cîmp de 50 000 oerstezi într-un volum de 10 cm³, greutatea 120 t, puterea necesară excitației 100 kW, tensiunea 250 V.

59. Proprietățile magnetice ale corpurilor feromagnetice. Fierul, nichelul, cobaltul și aliajele lor cum și unele aliaje ale manganului și cuprului constituie grupa corpurilor feromagnetice.

Se vor examina mai departe proprietățile lor principale, (enunțate în Vol. I, Cap. III al acestui manual) care interesează în general pentru studiul circuitelor magnetice și în special pentru studiul magneților și electromagneților.

α) *Starea magnetică* a corpurilor poate fi caracterizată prin vectorul inducției magnetice, care în cazul cel mai general este dat de:

$$\overline{B} = \mu_0 \overline{H} + \mu_0 \overline{J} + \mu_0 \overline{J}_0 ,$$

în care:

$\overline{B}$ este inducția magnetică;

$\overline{H}$ — cîmpul exterior;

$\overline{J}$ — intensitatea de magnetizare dependentă de H (indusă);

$\overline{J}_0$ — intensitatea de magnetizare independentă de H;

μ_0 — permeabilitatea vidului.

Starea magneților este caracterizată printr-o intensitate de magnetizare (polarizația magnetică) J_0 existentă chiar în absența unui cîmp extern.

(De remarcat că polarizația electrică P — a se vedea MIE, Cap, III, § 28 — nu poate fi menținută decît în cazul existenței unui cîmp electric E).

Corpurile se împart în două mari categorii:

— Corpuri a căror magnetizare este proporțională cu cîmpul:

$$\overline{J} = \varkappa \overline{H} = (\mu_r - 1) \overline{H}$$

în care $\varkappa$ este susceptanța magnetică.

La corpurile diamagnetice (de exemplu: hidrogenul, apa, aurul etc.) $\varkappa$ este negativ și independent de temperatură.

La corpurile paramagnetice (de exemplu: oxigenul, platina etc) $\varkappa$ este pozitiv, proporțional cu grosimea s și invers proporțional cu temperatura absolută T:

$$\varkappa = C \frac{s}{T} \qquad \text{[Legea Curie]}.$$

Valorile susceptanței $\varkappa$ în ambele cazuri sînt foarte mici (De exemplu: aurul $-3 \cdot 10^{-6}$, platina $+29 \cdot 10^{-6}$).

— Corpuri a căror magnetizare nu este proporțională cu cîmpul.

Din această categorie fac parte corpurile feromagnetice: fierul, nichelul, cobaltul și aliajele lor cum și unele aliaje ale manganului și cuprului.

Corpurile magnetice se mai caracterizează printr-o valoare a magnetizării cu mult mai mare decît a altor corpuri la același cîmp dar și prin atingerea unei saturații a magnetizării pentru valori relativ reduse ale cîmpului.

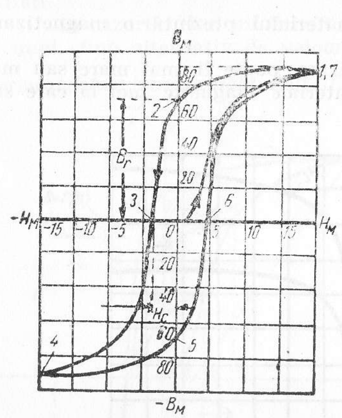


Fig. 30. — Ciclul de histerezis al unei piese de oțel moale.

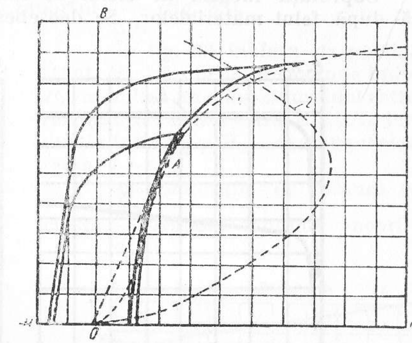


Fig. 31. — Ciclul de histerezis pentru diferite valori ale lui H_M: *1* — Curba normală de magnetizare.

β) *Ciclul de histerezis.* Caracteristicile magnetice[1]) ale unui corp feromagnetic depind de tratamentul magnetic anterior la care a fost supus. Cauza este fenomenul de histerezis (a se vedea vol. I, pag 256, § 69).

Se consideră, de exemplu, un inel de oțel complet demagnetizat, căruia i se aplică o forță magnetomotoare (f. m.m.). Mărind treptat această forță magnetomotoare, inducția în oțel crește după curba *0—1* (fig. 30) atingînd valoarea maximă B_M pentru valoarea intensității cîmpului H_M. Se obține astfel curba de magnetizare[2]) urcătoare.

Micșorînd f.m.m., inducția va urma curba *1—2* atingînd valoarea B_r pentru $H = 0$. Valoarea B_r reținută de oțel se numește *inducție reziduală* sau *magnetism rezidual.*

Variind f.m.m. în sens negativ, B va descrește după curba *2—3.* Valoarea H_c a cîmpului magnetic necesară pentru a reduce inducția la 0, se numește *forță coercitivă* sau *intensitate magnetică coercitivă.* Ciclul se completează descrescînd f.m.m. pînă la $-H_M$ și apoi crescînd-o din nou pînă la H_M. Inducția va urma curbele *3—4* și apoi *4—5—6—7.* În general, punctul *7* va fi cu puțin mai jos decît *1.*

Repetînd ciclul de mai multe ori, se obțin diferite puncte finale, *4* și *7*, care practic coincid (*1* cu *7*). Acesta este un ciclu de histerezis normal sau simetric.

Unind extremitățile diferitelor cicluri de histerezis corespunzînd la diferite valori pentru H_M, se obține *curba normală de magnetizare a materialului respectiv.* Aceasta coincide practic, cu ramura urcătoare a ciclului de histerezis (fig. 31).

[1]) În general prin caracteristică se înțelege în electrotehnică reprezentarea grafică a funcțiunii care leagă două fenomene conexe; în cazul caracteristicii magnetice $B = f(H)$.

[2]) Aceasta este curba de primă magnetizare.

Dacă în cursul parcurgerii ramurii descrescătoare $1-2-3-4$ se ajunge la o valoare oarecare a lui H şi apoi H este din nou mărit (nu prea mult însă) atunci variaţia lui B nu mai urmează curba $1-2-3-4$ ci o linie dreaptă care poate fi parcursă şi invers.

In felul acesta între anumite limite materialul prezintă o magnetizare reversibilă după o dreaptă.

Suprafaţa închisă de ciclul de magnetizare poate fi mai mare sau mai mică după felul materialelor. Se deosebesc materiale magnetic moi la care su-

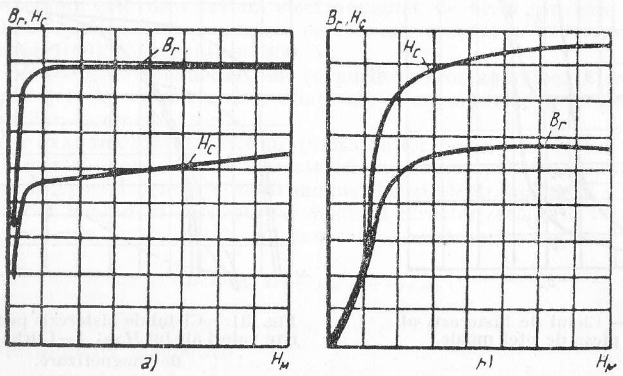


Fig. 32. — Inducţia reziduală B_r şi forţa coercitivă H_c în funcţie de H_M pentru două feluri de oţeluri.

prafaţa ciclului este mică şi materiale magnetic tari la care suprafaţa ciclului este mai mare.

Pentru materialele magnetic moi, în cazul limită, ciclul de histerezis se reduce la o singură curbă: deci pentru acestea $\overline{B}$ este funcţie univocă de $\overline{H}$. Asemenea cazuri însă nu se întîlnesc practic.

In cazul materialelor magnetic tari, după cum se constată imediat, $\overline{B}$ nu mai este o funcţiune univocă de $\overline{H}$.

În fig. 32 sînt arătate pentru două feluri de oţeluri curbele de variaţie a inducţiei reziduale şi a forţei coercitive H_c în funcţie de H_M.

Ele se aseamănă curbelor de magnetizare.

γ) *Cicluri de histerezis nesimetrice*. La electromagneţii de curent continuu ciclul de histerezis este diferit de acela produs de curenţi alternativi, nefiind simetric.

Un asemenea ciclu, avînd o ramură urcătoare şi o ramură coborîtoare este reprezentat în fig. 33.

La fiecare manevră de închidere şi deschidere a circuitului bobinei se va desfăşura un asemenea ciclu căruia îi corespunde o pierdere de energie proporţională cu suprafaţa închisă.

δ) *Permeabilitatea* (a se vedea vol. I, pag. 256, § 70). Permeabilitatea materialelor feromagnetice variază dealungul curbei de magnetizare.

Valoarea ei pentru $B = 0$, (care este egală cu valoarea tangentei la curba de magnetizare în punctul avînd $B = 0$ împărţită prin permeabilitatea vidului) se numeşte *permeabilitate iniţială*.

Permeabilitatea maximă corespunde punctului A de tangenţă la curba de magnetizare a unei drepte OA trecînd prin origină (fig. 31).

După acest punct permeabilitatea scade şi tinde către μ_0 cînd H tinde către infinit.

În cazurile cînd un circuit magnetic este supus atît unui cîmp constant cît şi unui cîmp alternativ de valoare redusă este util să se folosească noţiunea de *permeabilitate incrementală*, definită prin raportul $\frac{\Delta B}{\Delta H}$ (fig. 33).

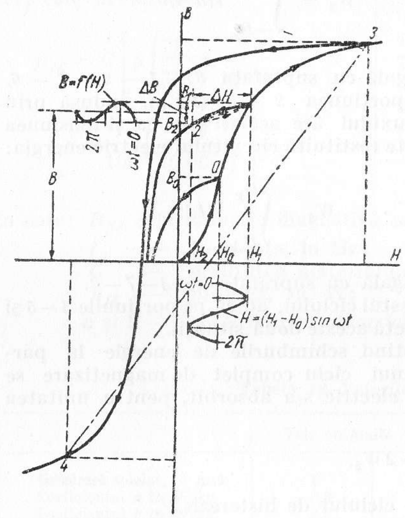


Fig. 33. — Permeabilitate incrementală.

În fig. 33 înafara cîmpului constant H_0, căruia îi corespunde inducţia B_0, se aplică un cîmp sinusoidal astfel că rezultanta variază între H_1 şi H_2 iar inducţia între B_1 şi B_2, — dealungul ciclului redus $1-2$.

ε) *Saturaţia*. Pe măsură ce B creşte, $\frac{dB}{dH}$ (raport denumit uneori per-

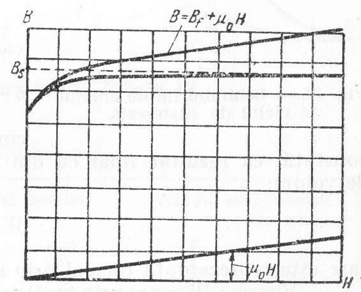


Fig. 34. — Saturaţia magnetică.

meabilitate diferenţială) mai întîi creşte şi apoi scade. Cînd valoarea acestui raport este numai de cîteva ori permeabilitatea vidului, materialul este considerat saturat.

Practic însă materialul poate fi socotit saturat, dacă starea lui de magnetizare corespunde porţiunii curbei de magnetizare după cot.

O valoare a inducţiei de saturaţie B_s mai bine precizată rezultă din fig.34.

ζ) *Pierderile de energie prin histerezis.* În cazul miezului de oţel de formă inelară pe care este înfăşurată o bobină cu spirele egal repartizate se pot scrie relaţiile:

$$H = \frac{wi}{l}\ ; \quad \varphi = BS\ ; \quad u = w\frac{d\varphi}{dt} = wS\frac{dB}{dt}\ .$$

Puterea medie absorbită într-o perioadă prin fenomenul histerezis este:

$$P_H = \frac{1}{T}\int_0^T uidt = \frac{1}{T}\int_0^T w\frac{d\varphi}{dt}\,idt = f\int_0^T wS\frac{dB}{dt}\frac{Hl}{w}dt =$$

$$= f\,Sl\int_0^T HdB = fV\int_0^T HdB.$$

η) *Schimburile de energie în ciclul de histerezis.* În timpul efectuării ciclului de histerezis (fig. 35) se produc următoarele schimburi de energie :

Dela punctul *6* pînă la *2* inducţia şi deci fluxul crescînd, se induce în circuitul electric de magnetizare o f.e.m. care are sens contrar tensiunii aplicate acestui circuit.

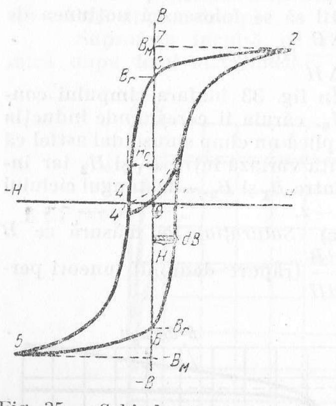


Fig. 35. — Schimburile de energie în ciclul de histerezis.

Din circuitul electric este absorbită energia:

$$W_1 = \int_{-B_r}^{B_M} H dB,$$

care este egală cu suprafaţa $6-1-2-7-6$.

Pe porţiunea $2-3$ (f.e.m. indusă prin scăderea fluxului are acelaşi sens ca şi tensiunea aplicată) este restituită circuitului electric energia:

$$W_2 = \int_{B_M}^{B_r} H dB,$$

care este egală cu suprafaţa $2-3-7-2$.

În restul ciclului, adică pe porţiunile $3-5$ şi $5-6$, se repetă aceste două situaţii.

Socotind schimburile de energie la parcurgerea unui ciclu complet de magnetizare se constată, ca rezultat final, că din circuitul electric s-a absorbit, pentru unitatea de volum:

$$W = 2W_1 - 2W_2,$$

care este reprezentată tocmai prin suprafaţa ciclului de histerezis.

Energia W apare prin încălzirea piesei de oţel supusă magnetizării şi demagnetizării. Această pierdere de energie constituie un fenomen ireversibil care are ca efect reducerea randamentului maşinilor în care se folosesc piese feromagnetice supuse magnetizării şi demagnetizării.

Pentru o anumită inducţie maximă B_M, energia consumată prin histerezis este cu atît mai mare cu cît bucla circuitului este mai largă, adică cu cît forţa coercitivă este mai mare.

Exprimînd pierderile de energie p_H ale unităţii de volum de material în cursul unui ciclu în funcţie de B_M se obţine (a se vedea şi vol. I, pag. 281, § 124):

$$\log p_H = \log \eta + n \log B_M .$$

Deci:

$$p_H = \eta B_M^n .$$

Pentru un volum de material V, şi în cazul descrierii ciclului de histerezis de f ori în unitatea de timp (frecvenţă) puterea consumată în pierderile histerezis este dată de formula (Steinmetz):

$$p_H = \eta B_M^{1,6} f V,$$

în care: B_M este inducţia magnetică maximă, în gauşi;

V — volumul, în cm³;

f — frecvenţa, în Hz;

η — un coeficient a cărui valoare pentru unele materiale este dată în tabela 11;

p_H — puterea, în W.

Tabela 11. Valoarea coeficientului η

Fier electrolitic recopt	$0{,}78 \cdot 10^{-10}$
Oţel pentru maşini electrice	$0{,}54 \cdot 10^{-10}$
Tablă de oţel de acoperire	$4 \cdot 10^{-10}$
Tablă de oţel de acoperire recoaptă	$2 \cdot 10^{-10}$
Oţel pentru transformator	$0{,}6-0{,}75 \cdot 10^{-10}$
Tole pentru maşini electrice	$1{,}3-1{,}5 \cdot 10^{-10}$
Fontă	$13 \cdot 10^{-10}$

O relaţie mai exactă (Richter) este următoarea:

$$p_H = G\left[a\left(\frac{f}{100}\right)\frac{B_M}{10\,000} + b\frac{f}{100}\left(\frac{B_M}{10\,000}\right)^2\right],$$

în care: B_M este inducţia magnetică maximă, în gauşi;

f — frecvenţa, în Hz;

G — greutatea materialului, în kg;

p_H — puterea, în W;

a şi b — coeficienţi a căror valoare este dată în tabela 12.

Tabela 12. Valorile coeficienţilor a, b şi σ_t

	Tole obişnuite pentru maşini electrice			Tole din aliaje speciale	
Grosimea tolelor, în mm	1	0,5	0,35	0,5	0,35
Coeficientul a în W/kg	0,9	0,9	0,9	0,4	0,3
Coeficientul b în W/kg	3,5	3,5	3,8	2,6	2,1
σ_t	22,5	5,7	3,0	1,3	0,7

Variaţia magnetizării se poate face:

— fie prin modificarea valorii lui H între $-H_M$ şi $+H_M$;

— fie prin rotirea corpului într-un cîmp magnetic invariabil (cazul unor maşini electrice).

În acest caz pierderile histerezis nu urmează chiar acelaşi regim ca şi la schimbarea alternativă a magnetizării, totuşi în lipsa unor cercetări mai precise se folosesc aceleaşi relaţii.

θ) *Pierderile de energie prin curenţi turbionari (Foucault).* Corpurile feromagnetice, ca şi orice corp conductor, supuse unui cîmp magnetic variabil sînt sediul unor curenţi de inducţie, numiţi curenţi turbionari, care se închid în planuri perpendiculare pe vectorul inducţiei magnetice.

Aceştia produc două feluri de efecte:

— o încălzire a corpului prin efect Joule-Lenz;

— o acţiune demagnetizantă deoarece conform principiului lui Lenz, produc o f.e.m. opusă aceleia aplicată corpului.

Considerînd o tolă (fig. 36), curenţii turbionari, urmează aproximativ traseele conturilor dreptunghiurilor $abcd$, $a'b'c'd'$ etc. situate în planuri perpendiculare pe direcţia vectorului inducţiei magnetice.

Se detaşează o prismă $a\,b\,c\,d\,a'\,b'\,c'\,d'$, avînd dimensiunile din figură, şi care este străbătută de fluxul:

$$\Phi = BS = Bb2x.$$

F.e.m. indusă în pereţii prismei la o variaţie a fluxului, este:

$$E_x = 4Kf\Phi_M = 4Kf\cdot 2B_M bx.$$

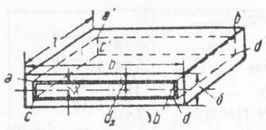


Fig. 36. — Curenţi turbionari într-o tolă.

Rezistenţa ohmică a conturului prismei, neglijînd laturile $aca'c'$ şi $bdb'd'$, este:

$$R_x = \rho\frac{2b}{l\,dx}.$$

Puterea consumată în efect Lenz-Joule este:

$$dP_x = \frac{E_x^2}{R_x} = \frac{64K^2f^2b^2x^2B_M^2\,l\,dx}{2b\rho} = \frac{32K^2f^2bx^2B_M^2\,l\,dx}{\rho}$$

Însumînd pierderile în toate prismele care constituie tola se obţine:

$$P_t = \int_{x=0}^{x=\frac{\delta}{2}} dP_x = \frac{32K^2f^2bB_M^2\,l}{\rho}\int_{x=0}^{x=\frac{\delta}{2}} x^2dx = \frac{4K^2f^2B_M^2\,(lb\delta^3)}{3\rho}.$$

Deoarece volumul tolei este $V = lb\delta$,

$$P_t = \frac{4K^2f^2B_M^2\,\delta^2V}{3\rho}.$$

Ţinînd seama că $K = 1{,}11$ iar $\rho = 10^{-5}\ \Omega\cdot cm/cm^3$ pentru oţel, formula se poate scrie:

$$P_t = 1{,}64\,(f\delta B_M)^2\,V\,10^{-12},$$

în care: f este frecvenţa curentului, în Hz;
δ — grosimea tolei, în mm;
B_M — inducţia maximă, în gauşi;
V — volumul tolei, în cm³;
P_t — pierderile de putere, în W.

Raportînd la greutatea G a materialului, pierderile se pot exprima prin relaţia:

$$P_t = G\left(\frac{f}{100}\cdot\frac{B_M}{10\,000}\right)^2\sigma_t,$$

în care σ_t este un coeficient ale cărui valori sînt date în tabela 12.

Din relaţiile date rezultă că pierderile prin curenţi turbionari sînt cu atît mai mici cu cît grosimea tolei este mai mică şi rezistivitatea mai mare.

De aceea pentru construcţia de aparate şi maşini electromagnetice miezul supus unui cîmp variabil este constituit din tole subţiri cu rezistenţă ohmică mare, izolate între ele cu hîrtie sau cu un lac. Dispoziţia tolelor trebuie să fie paralelă cu direcţia cîmpului. În acest caz circuitele electrice care se pot stabili în planuri perpendiculare pe direcţia cîmpului au un parcurs foarte redus.

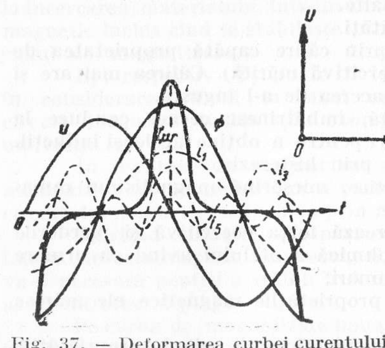


Fig. 37. — Deformarea curbei curentului din cauza saturaţiei magnetice.

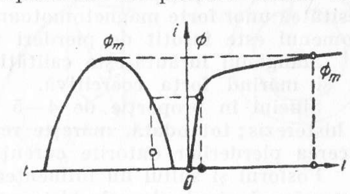


Fig. 38. — Construcţia curbei curentului.

ι) *Deformarea curbei curentului* din cauza saturaţiei magnetice. Aplicînd o tensiune sinusoidală:

$$u = U\sin\omega t,$$

unei bobine avînd miezul din material feromagnetic, fluxul magnetic va avea şi el o formă sinusoidală decalat cu $\frac{\pi}{2}$ în urma tensiunii.

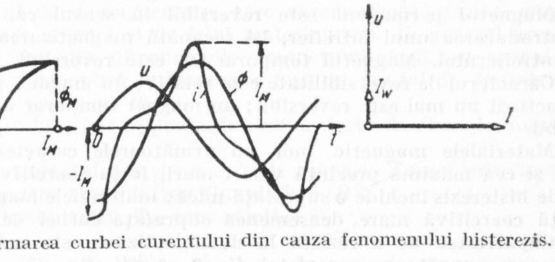


Fig. 39. — Deformarea curbei curentului din cauza fenomenului histerezis.

În cazul inducţiilor mari, din cauza saturaţiei, curba curentului se deformează însă ascuţindu-se, punînd astfel în evidenţă armonicile, mai întîi a treia apoi a cincea (fig. 37).

Construcţia curbei curentului se face conform fig. 38.

κ) *Deformarea curbei curentului din cauza fenomenului de histerezis.* Aplicînd bobinei o tensiune sinusoidală:

$$u = U\sin\omega t,$$

fluxul magnetic va avea şi el o formă sinusoidală.

Curba curentului se va obţine luînd din curba ciclului de histerezis valorile corespunzătoare ale lui i pentru diverşi Φ. Se ajunge la imaginea din fig. 39 (a se vedea vol. I, pag. 393—407, Regimul deformant).

Este de observat că saturaţia magnetică conduce la o ascuţire a curbei curentului iar fenomenul de histerezis îi modifică simetria (punctele de zero ale fluxului şi curentului sînt decalate între ele, deşi maximele coincid).

λ) *Alte caracteristici ale corpurilor feromagnetice.* Fierul pur obţinut pe cale electrolitică, are calităţi magnetice foarte înalte.

În general adausurile reduc aceste calităţi.

Oţelul conţinînd peste 0,9 % carbon prin călire capătă proprietatea de a se magnetiza şi demagnetiza greu (forţa coercitivă mărită). Călirea mai are şi efectul de a lărgi ciclul de histerezis, iar recoacerea de a-l îngusta.

Tolele de oţel, prin încălzire îndelungată, îmbătrînesc ceeace conduce la necesitatea unor forţe magnetomotoare mai mari pentru a obţine aceleaşi inducţii. Fenomenul este însoţit de pierderi mai mari prin histerezis.

Manganul înrăutăţeşte calităţile magnetice, micşorînd magnetismul remanent şi mărind forţa coercitivă.

Siliciul în proporţie de 4—5 % micşorează forţa coercitivă şi pierderile prin histerezis; tot odată, măreşte rezistenţa ohmică a oţelului avînd ca urmare reducerea pierderilor datorite curenţilor turbionari.

Fosforul şi sulful nu influenţează mult proprietăţile magnetice, ele măresc într-o măsură pierderile prin histerezis.

La anumite temperaturi corpurile feromagnetice îşi pierd proprietăţile magnetice. Aceste temperaturi (punctul Curie) sînt: pentru fier 753°C, pentru nichel 376°C iar pentru cobalt 1 137°C.

În electrotehnică se folosesc corpuri feromagnetice cu diferite compoziţii, după calităţile magnetice cerute.

Ele sînt tratate în capitolul *Materiale Electrotehnice.*

Este de menţionat aliajul oţel-nichel, care la anumite proporţii (permalloy) prezintă calităţi magnetice excepţionale.

60. **Magneţii.** Se deosebesc două tipuri de magneţi: *permanenţi* din material magnetic tare şi *temporari* din material magnetic moale [1]).

Magnetul permanent este reversibil în sensul că, demagnetizat parţial prin introducerea unui întrefier, îşi recapătă magnetizarea iniţială după desfiinţarea întrefierului. Magnetul temporar nu este reversibil.

Caracterul de reversibilitate este relativ: un magnet permanent foarte mult demagnetizat nu mai este reversibil; un magnet temporar demagnetizat puţin este reversibil.

Materialele magnetic moi au următoarele caracteristici: permeabilitatea iniţială şi cea maximă prezintă valori mari, forţa coercitivă are valoare mică iar ciclul de histerezis închide o suprafaţă mică; materialele magnetic tari, dimpotrivă, au forţă coercitivă mare, deasemenea suprafaţa curbei de histerezis este mare.

Capacitatea de a rezista la demagnetizare este măsurată mai precis de energia corespunzătoare suprafeţei $4'-0-3-4'$ (fig. 35).

Calităţile cerute unui magnet sînt: inducţie remanentă, forţa coercitivă şi permeabilitate magnetică mare.

Utilitatea unui magnet este măsurată prin fluxul pe care-l poate produce în întrefier şi prin forţa magnetomotoare pe care o poate menţine pentru întrefier, jumătate din produsul acestor cantităţi fiind proporţional cu energia acumulată în întrefier.

[1]) Oţelul magnetic moale este întrebuinţat la cele mai multe fabricate electrotehnice (transformatoare, maşini, relee etc.). Din această categorie fac parte: oţelurile electrotehnice (silicioase), aliajele speciale de fier şi nichel, cum este de exemplu aliajul permalloy.

Din categoria materialelor magnetic tari fac parte: oţelurile cu wolfram, cu crom, cu cobalt, aliajele de nichel şi aluminiu, aliajele de cobalt, nichel şi aluminiu.

Eficienţa unui magnet este măsurată prin raportul dintre această energie şi volumul magnetului.

Caracterizarea magnetică a materialului unui magnet o dă curba de demagnetizare trasată între B_r sau Φ_r şi H_c (fig. 40). Această porţiune de curbă se obţine la încercarea materialului într-un circuit magnetic închis cînd se stabileşte întreg ciclul de magnetizare.

B_r, respectiv Φ_r poate fi luat în considerare numai în cazul unui circuit magnetic închis (de exemplu un inel).

În realitate un magnet nu are niciodată o formă închisă, ci o parte a circuitului magnetic se închide prin aer.

Existînd un întrefier, o parte din f.m.m. de care dispune magnetul, $H_c\, l_f$ va fi necesară pentru a stabili fluxul în acest întrefier $\Phi_\delta/\Lambda_\delta$.

Pe curba de magnetizare noua situaţie corespunde punctului Φ_δ. Cîmpul se reduce de la H_c la $H_c - H_\delta$.

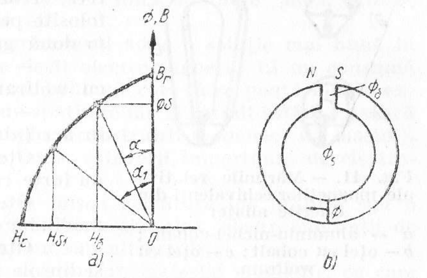


Fig. 40. — Caracteristica unui magnet.

Suprafaţa dreptunghiului $\Phi_\delta H_\delta$ este proporţională cu energia acumulată în întrefier.

Punctul $[\Phi_\delta,\ H_\delta]$ se poate stabili aplicîndu-se legea circuitului magnetic pentru fier şi întrefier; se obţine:

$$\frac{H_\delta}{B_\delta} = \frac{S_\delta}{l_f \Lambda_\delta} = N = \operatorname{tg} \alpha.$$

N este coeficientul de demagnetizare care caracterizează forma magnetului (el depinde în oarecare măsură şi de felul materialului). În general acest coeficient nu poate fi calculat din dimensiunile magnetului decît cu aproximaţie.

Cunoscînd o dreaptă, avînd înclinarea α faţă de axa lui Φ, la intersecţia cu curba de magnetizare va da pe Φ_δ.

Cunoscînd fluxul în întrefier se poate determina forţa de atracţie, după cum se va arăta mai departe.

În realitate însă magnetul are şi un flux de scăpări. Numai prin secţiunea corespunzătoare liniei neutre trece întreg fluxul $\Phi = BS$.

Între acesta şi fluxul activ Φ_δ este relaţia:

$$\frac{\Phi_\delta}{\Phi} = \frac{\Lambda_\delta}{\Lambda},$$

în care Λ este permeanţa totală adică a căilor fluxului activ cît şi a căilor fluxului de scăpări.

Dacă se micşorează întrefierul δ pînă la $\delta_1 < \delta$, punctul de funcţionare nu se deplasează pe curba de magnetizare ci pe un ciclu secundar şi anume pe ramura lui de jos. Dacă se măreşte din nou întrefierul, punctul de funcţionare se deplasează pe ramura de sus a ciclului secundar revenind la punctul iniţial. Ciclul secundar poate fi asimilat cu o linie (recul).

În general, un magnet cu forţa coercitivă mare poate fi relativ scurt, dar cu secţiune transversală mare, pe cînd un magnet cu remanenţa mare poate avea o secţiune transversală mică, dar în schimb trebuie să fie lung.

Forţa coercitivă, care este inversa forţei magnetomotoare necesară pentru a reduce remanenţa la zero şi deci a demagnetiza magnetul, măsoară şi mărimea acţiunilor mecanice (şoc, vibraţii etc), cum şi a schimbărilor de temperatură pe care le poate suporta un magnet fără să îmbătrînească.

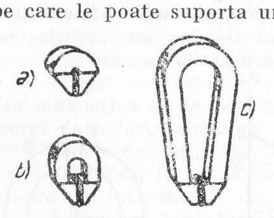


Fig. 41. — Mărimile relative ale magneţilor echivalenţi din diferite aliaje:
a — aluminiu-nichel-cobalt ; b — oţel cu cobalt; c — oţel cu wolfram.

Din punct de vedere al mărimii forţei coercitive, şi deci al calităţilor care decurg, materialele folosite pentru fabricarea magneţilor pot fi împărţite în două grupe:

— oţeluri cu carbon, oţeluri cu crom, oţeluri cu wolfram şi oţeluri cu cobalt;

— aliaje de aluminiu, nichel şi cobalt călite în aer (alni şi alnico).

Oţelurile cu carbon, cu crom şi cele cu wolfram au forţe coercitive relativ mici.

Oţelurile cu cobalt au forţe coercitive relativ medii, iar unele aliaje speciale au forţe coercitive mari.

Oţelurile cu carbon sînt indicate pentru jucării şi busole ieftine. Oţelurile cu crom, wolfram şi cobalt sînt de utilizare generală, primele fiind cele mai folosite.

Mărimile relative ale magneţilor din diferite materiale la aceeaşi energie magnetică pe unitatea de volum, sînt arătate în fig. 41.

Magnetizarea se face în condiţiile cele mai bune cu ajutorul curentului electric. Se pare că prezintă oarecare utilitate lovirea materialului cu un ciocan de lemn, în timpul procesului de magnetizare.

Intensitatea cîmpului magnetic necesar pentru saturarea oţelului cu crom sau a oţelului cu wolfram este de circa 240 A·sp/cm iar a oţelului cu cobalt este de circa 1 000 A·sp/cm.

Durata de magnetizare prezintă mică importanţă, cu condiţia însă ca intensitatea curentului să fi atins valoarea maximă.

Magneţii permanenţi se maturizează cu timpul şi în felul acesta proprietăţile lor devin constante.

Cauzele care grăbesc maturizarea sînt: temperatura, şocurile mecanice, vibraţiile etc.

Magneţii pot fi maturizaţi artificial, prin introducerea lor în ulei, la o temperatură de aproximativ 120°C, pe timp de aproximativ o jumătate de oră, şi supunîndu-i după aceea unor vibraţii. Magneţii permanenţi folosiţi la instrumente de măsură, cer neapărat să fie maturizaţi pentru asigurarea constanţei lor.

Operaţia se face înainte sau după asamblare.

În privinţa conservării magneţilor permanenţi, sînt de observat următoarele:

Magneţii permanenţi pot reţine magnetismul mulţi ani. Ei nu trebuie să fie însă purtaţi pe suprafeţele pieselor de fier sau oţel, nu trebuie să fie supuşi vreunor influenţe puternice de demagnetizare, nici la temperaturi mereu variabile şi nici ţinuţi în apropiere de materiale magnetice.

Retentivitatea unui magnet permanent mai depinde în mare măsură de dimensiunile şi forma sa. Magneţii permanenţi cu întrefier mic cum şi cei magnetizaţi după asamblare în diferite aparate nu au nevoie în general de măsuri de conservare.

La alţi magneţi este neapărat necesar să fie aplicate armături de oţel moale, din momentul magnetizării şi pînă la utilizarea lor, respectiv montarea lor într-un aparat.

Magneţii din aliaje noi (cu aluminiu) au un cîmp de utilizare mai mare decît cei cu aliaje de tip mai vechi. Astfel se pot construi din aliajele noi, generatoare cu putere de mai mulţi kilowaţi. Totodată prin utilizarea noilor aliaje (cu aluminiu) se reduc dimensiunile acestor maşini.

Aplicaţiile principale ale magneţilor sînt: producerea de forţă electromotoare şi de forţă mecanică. Ei sînt folosiţi în instrumente pentru aviaţie, întreruptoare, busole, dispozitive de amortizare, electrocardiografe, ceasuri electrice, cuplaje electrice, aparate electrice de măsurat [1]), căşti radio, difuzoare, ambreiaje magnetice, zăvoriri magnetice, separatoare, magneto-uri, contoare, microfoane, oscilografe, dispozitive fotoeletrice, relee, generatoare mici, motoare mici, vitezometre, tachometre, regulatoare de tensiune etc.

În unele cazuri speciale, magneţii permanenţi aduc o soluţie mai bună în construcţia aparatelor şi maşinilor electrice decît electromagneţii. Ei nu consumă energie, nu cer conductori de alimentare, nu au bobinaje care să se poată încălzi excesiv. Dată fiind lipsa bobinelor, ele ocupă un spaţiu redus şi permit astfel o uşoară rezolvare a unor anumite probleme (de exemplu a construirii modelelor de maşini).

61. **Electromagneţii.** Se pot distinge două categorii importante de electromagneţi:

— electromagneţii concepuţi pentru a mişca armătura lor proprie sau o altă piesă, efectuînd astfel un lucru mecanic; aceştia sînt electromagneţii de *tracţiune*. Ei sînt alimentaţi în curent continuu sau alternativ;

— electromagneţii concepuţi pentru a reţine un material magnetic, cu care sînt puşi în contact; aceştia sînt electromagneţii *purtători*, care deobicei sînt alimentaţi în curent continuu; în mod excepţional sînt alimentaţi în curent alternativ.

În unele aplicaţii, electromagnetul constituie o piesă dintr-un dispozitiv mai complex, cum este cazul ambreiajelor electromagnetice. Se pot face şi alte clasificări: după felul curentului de alimentare, după utilizare, etc. (fig. 42).

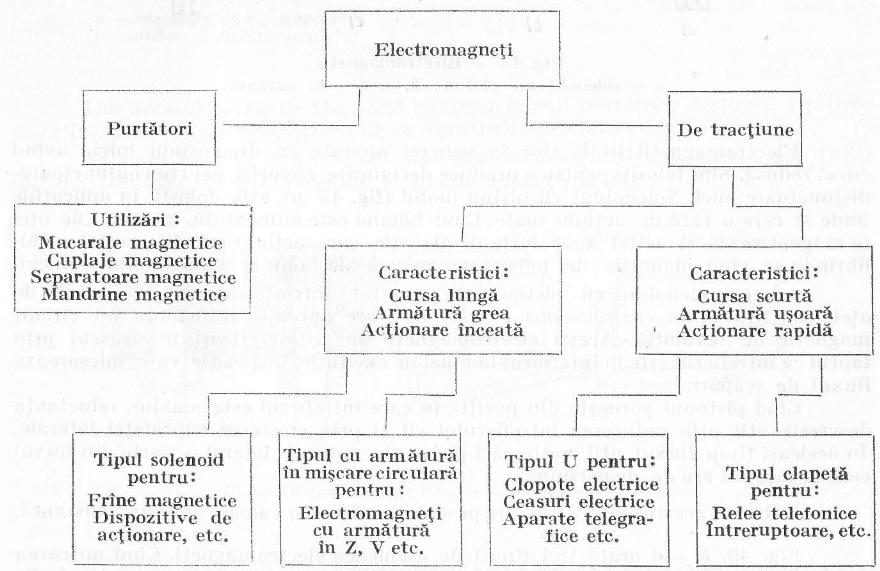


Fig. 42. — Clasificarea electromagneţilor

[2]) În acest caz sînt folosiţi în aparatele cu magnet permanent (magnetoelectrice) şi în aparatele electromagnetice polarizate. În primul caz produc cuplul activ sau antaognist iar în al doilea caz, cuplul de amortizare.

Orice electromagnet se bazează pe un solenoid adică pe o bobină de formă, în general, elicoidală, alimentată cu curent electric, şi avînd spirele izolate unele în raport cu altele, chiar cînd conductorul nu este îmbrăcat. Solenoizii se atrag şi se resping reciproc, după polarităţile capetelor lor.

Funcţionarea electromagneţilor este influenţată de următorii factori: inductanţe în serie cu bobina, inerţia pieselor mobile, frecări de-a lungul parcursului de deplasare, producerea de curenţi turbionari (Foucault) dispersiuni magnetice, forţa coercitivă a materialului magnetic, fenomenul de histerezis etc.

Construcţiile de electromagneţi sînt foarte variate.

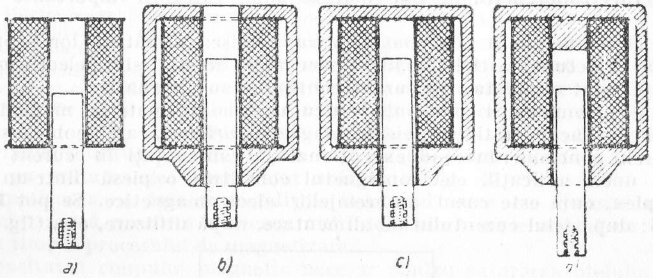


Fig. 43. — Electromagneţi:
a — solenoid cu piston; *b*, *c*, *d* — în carcasă.

Electromagneţii în U sînt în general aparate cu dimensiuni mici, avînd cursă redusă. Sînt folosiţi pentru a produce declanşare, zăvorîri, pentru conjunctoare-disjunctoare mici. Solenoidul cu piston mobil (fig. 43 *a*) este folosit în aplicaţiile unde se cere o rază de acţiune mare. Cînd bobina este alimentată, pistonul de oţel se magnetizează şi astfel apar forţe de atracţie, care acţionează diferenţial, echilibrîndu-se cînd planurile de polaritate neutră ale bobinei şi pistonului coincid.

Adesea solenoidul cu piston este montat într-o carcasă sau ramă de oţel, constituind un *electromagnet blindat* care are aproape totdeauna un circuit magnetic de revoluţie. Aceşti electromagneţi sînt caracterizaţi în deosebi prin faptul că întrefierul este în interiorul bobinei de excitaţie, dispoziţie care micşorează fluxul de scăpări.

Cînd pistonul porneşte din poziţia în care întrefierul este maxim, reluctanţa descreşte atît prin reducerea întrefierului cît şi prin creşterea suprafeţei laterale. În acelaşi timp fluxul util creşte căci pistonul captează lateral o parte din fluxul care la început era de dispersiune.

Datorită acestui fapt $\dfrac{dR_m}{dx}$ are pe o parte a cursei o valoare aproape constantă.

Fig. 43, *b* — *d* arată trei tipuri de asemenea electromagneţi. Cînd mişcarea armăturii este oprită brusc, se produce o lovitură care poate, uneori, să fie folosită în mod util la ciocane electrice, dar în alte cazuri este dăunătoare aparatului şi supărătoare prin sgomotul produs. Această lovitură de ciocan poate fi redusă sau înlăturată prin diferite mijloace: prin reducerea vitezei pistonului, prin utilizarea de arcuri, prin diferite dispozitive constructive etc.

La tipul din fig. 43, *b* pistonul nu loveşte rama la finele cursei şi deci, nu poate produce efectul unei lovituri de ciocan, cum se întîmplă cu cei din fig. 43, *c* şi fig. 43, *d*. Electromagnetul din fig. 43, *d* este prevăzut cu un tampon, care are ca efect sporirea forţei de atracţie spre finele cursei.

Dacă se foloseşte curent alternativ, pistonul şi carcasa trebuie construite din tole de oţel magnetic. Sînt şi aplicaţii la care pistonul nu mai este mobil ci constituie un miez fix în interiorul solenoidului.

Electromagneţii cu rază mică de acţiune au, în general, miezul fixat rigid în interiorul bobinei, iar lucru lor mecanic este efectuat de o armătură exterioară mobilă (fig. 44).

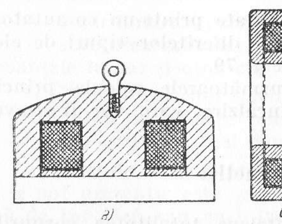


Fig. 44. — Electromagneţi cu rază mică de acţiune:
a — electromagnet purtător;
b — ambreiaj electromagnetic.

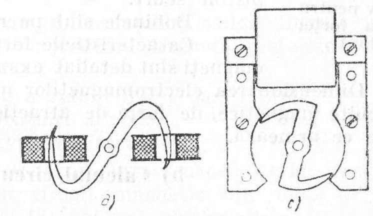


Fig. 45. — Electromagneţi rotativi.

Din această categorie fac parte electromagneţii purtători, destinaţi a prinde şi reţine materialele magnetice. Ei se construiesc deobicei foarte masivi.

În afara celor de mai sus, se folosesc electromagneţii diferenţiali construiţi din doi solenoizi cu acţiune opusă şi electromagneţii rotativi (fig. 45).

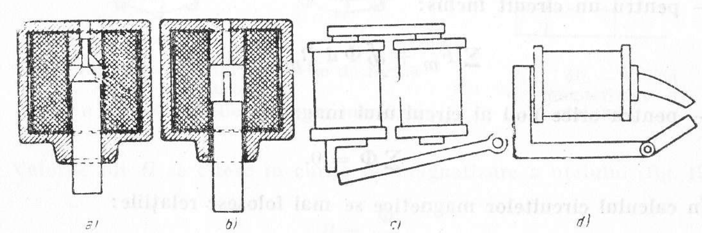


Fig. 46. — Dispozitive pentru mărirea atracţiei iniţiale.

Forţa de atracţie a unui electromagnet de tracţiune variază în fiecare punct al cursei. Această caracteristică are un anumit aspect pentru fiecare tip de magnet, după cum se va arăta mai departe. De multe ori este necesar a se schimba caracteristica şi, în acest scop, electromagnetul este prevăzut cu diferite adausuri, sau încă se modifică modul tipic de construire al pistonului, bobinelor etc.

Se folosesc diferite procedee pentru a mări atracţia iniţială. Fig. 46 arată astfel de procedee: electromagneţii cu piston prelungit, cu capetele miezurilor prelungite sau lărgite etc.

Se mai utilizează şi dispozitive (fig. 47) care măresc forţa portantă, calitate cerută mai ales unui magnet de tracţiune, care la finele cursei trebuie să susţină sarcina.

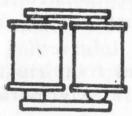


Fig. 47. — Dispozitiv pentru mărirea forţei portante.

În acelaşi scop, electromagneţii monofazaţi trebuie prevăzuţi cu o înfăşurare în scurtcircuit pentru a împiedica vibraţiile armăturii sau pistonului.

În sfîrşit mai trebuie semnalaţi electromagneţii cu cursă foarte lungă, constituiţi din mai mulţi solenoizi cap la cap, cu un piston scurt.

Bobinele sînt pe rînd alimentate printr-un comutator.

Caracteristicile forţă-cursă ale diferitelor tipuri de electromagneţi sînt detaliat examinate la § 79.

Dimensionarea electromagneţilor necesită următoarele calcule principale: de circuite magnetice, de forţe de atracţie şi de încălzire, care vor fi desvoltate în cele ce urmează.

b) Calculul circuitelor magnetice

62. **Definiţii.** Prin circuit magnetic se înţelege totalitatea corpurilor şi mediilor ce se găsesc sub acţiunea unei forţe magnetomotoare şi care sînt înlănţuite printr-un flux comun. (A se vedea vol. I, pag. 256, § 71).

În mod riguros fluxul cuprinde un spaţiu întins; în mod practic se consideră circuit magnetic numai porţiunea în care este concentrată majoritatea fluxului.

Este de observat că analogia cu circuitele electrice este numai matematică, deoarece fenomenele sînt diferite.

Circuitul magnetic este constituit din medii polarizate (comparabile întrucîtva cu dielectricii) pe cînd circuitul electric este constituit din corpuri conducătoare caracterizate prin mobilitatea sarcinilor electrice.

63. **Calculul circuitelor magnetice conţinînd miez de oţel şi întrefier de permeanţă cunoscută.** Metodele de calcul se bazează pe legile lui Kirchoff şi anume:

— pentru un circuit închis:

$$\Sigma F_m + \oint \Phi \, d\, R_m = 0;$$

— pentru orice nod al circuitului magnetic:

$$\Sigma \Phi = 0.$$

În calculul circuitelor magnetice se mai folosesc relaţiile:

$$R_m = \frac{l}{\mu S}$$

şi:

$$\Lambda = \frac{\mu S}{l},$$

n care: R_m este reluctanţa;
Λ — permeanţa;
μ — permeabilitatea (absolută).

Calculul circuitelor magnetice cuprind două cazuri şi anume:

a) calcule în care este dat fluxul în circuit şi se cere a se determina forţa magnetomotoare;

b) calcule în care se dă forţa magnetomotoare şi se cere fluxul.

La circuitele electrice, care conţin numai rezistenţe, şi care sînt analoge circuitelor magnetice, nu este nici o deosebire între aceste două feluri de calcule. Nu se întîmplă însă acelaşi lucru cu circuitele magnetice ce conţin materiale feromagnetice, deoarece între flux şi forţa magnetomotoare nu este nici o relaţie liniară şi nici o altă relaţie analitică simplă. Deaceea obişnuit trebuie să se recurgă la calculul prin aproximaţii în locul unui calcul exact.

Calculul unui circuit magnetic constă în:

— determinarea permeanţelor (sau reluctanţelor) căilor fluxului în aer;

— stabilirea schemei echivalente a circuitului magnetic real (care cuprinde permeanţele în aer şi oţel, cum şi f. m. m.).

— calculul acestei scheme pentru a stabili fluxul sau f.m.m.

Circuitele magnetice pot avea alcătuiri diferite.

Se vor examina mai departe cîteva circuite tipice.

α) *Circuite simple fără scăpări de flux.* Între cazurile cele mai simple care se pot prezenta este acela al unui circuit magnetic din miez de oţel în formă de tor fără sau cu întrefier, (fig. 48) bobinat uniform [1]).

În acest caz, cunoscînd *fluxul*, forţa magnetomotoare se determină imediat:

Pentru cazul din fig. 48 *a*:

$$F_m = Iw = H_1 l_1 + H_2 l_2 .$$

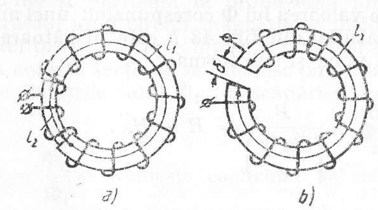


Fig. 48. — Circuit magnetic de formă toroidală:
a — fără întrefier; *b* — cu întrefier.

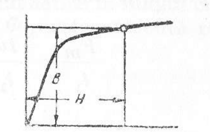


Fig. 49. — Curba de magnetizare a oţelului.

Valorile lui H se citesc în curba de magnetizare a oţelului (fig. 49) pentru:

$$B = \frac{\Phi}{S} .$$

Pentru cazul din fig. 48, *b*:

$$F_m = Iw = H_1 l_1 + H_\delta \delta = l_1 \left(H_1 + H_\delta \frac{\delta}{l_1} \right),$$

[1]) Un asemenea circuit nu are scăpări de flux; dacă raza este de cel puţin şase grosimea radială, inducţia poate fi considerată uniformă pentru întreaga secţiune.

în care: H_1 şi H_2 este cîmpul în miezul de oţel;

H_δ — cîmpul în intrefier $= \frac{\Phi}{\mu_0 S}$;

l_1 şi l_2 — lungimile miezului de oţel;

w — numărul spirelor bobinei;

δ — întrefierul

F_m — forţa magnetomotoare.

Invers, cunoscînd forţa magnetomotoare, fluxul corespunzător nu se poate determina direct ci numai prin aproximaţii succesive sau pe cale grafică.

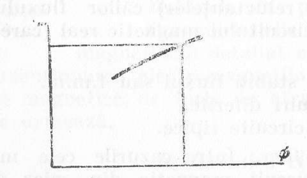


Fig. 50. — Stabilirea valorii lui Φ.

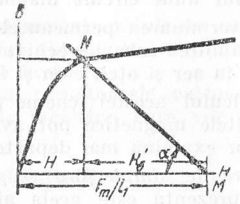


Fig. 51. — Stabilirea valorii lui B.

Dacă se iau cîteva valori pentru flux Φ′, Φ″ etc. se pot determina imediat forţele magnetomotoare corespunzătoare F_m, F_m'' etc. Se construieşte apoi curba $F_m = f(\Phi)$ (fig. 50) din care se citeşte valoarea lui Φ corespunzînd unei anumite F_m.

Pe cale grafică rezolvarea cazului din fig. 48 *b* este următoarea:

Expresia de mai sus se poate pune şi sub forma:

$$\frac{F_m}{l_1} = \frac{Iw}{l_1} = \frac{B}{\mu} + \frac{B}{\left(\frac{\mu_0 l_1}{\delta}\right)} = H + H'_\delta .$$

Valoarea lui B se găseşte pe curba de magnetizare, corespunzător lui H (necunoscut) dar este egală şi cu:

$$B = H'_\delta \left(\frac{\mu_0 l_1}{\delta}\right) = H'_\delta \operatorname{tg} \alpha,$$

în care:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\mu_0 l_1}{\delta},$$

μ_0, l_1 şi δ fiind elemente cunoscute ale circuitului.

În consecinţă, în diagrama din fig. 51 se ia în abscisă $\frac{F_m}{l_1}$ iar din punctul M se duce o dreaptă făcînd cu axa absciselor unghiul α. Punctul de intersecţie N al dreptei şi curbei de magnetizare dă valoarea lui B şi în consecinţă se poate stabili fluxul Φ.

β) *Circuite cu scăpări de flux.* Dar în mod obişnuit circuitele nu sînt atît de simple; deosebit mai intervin şi fluxurile de scăpări.

Un circuit frecvent întîlnit este acela compus din mai multe porţiuni de oţel, în serie de diferite secţiuni.

Astfel în figura 52 este prezentat circuitul magnetic al unui electromagnet în formă de *U*. În virtutea primei legi a lui Kirchoff: $\Phi_x = \Phi_\delta + \Phi_{sx}$ adică fluxul care trece prin secţiunea aflată la distanţa x este egal cu fluxul principal Φ_δ plus fluxul de scăpare sau de dispersiune Φ_{sx} după această secţiune.

Fluxul principal sau util este acela care trece prin intrefierul util. Toate celelalte fluxuri care nu ajung pînă la întrefierul util, ci sînt derivate pe alte căi, se numesc *fluxuri de dispersiune sau de scăpări*. (Este de observat însă că ele iau parte uneori la lucrul mecanic executat de armătura electromagnetului).

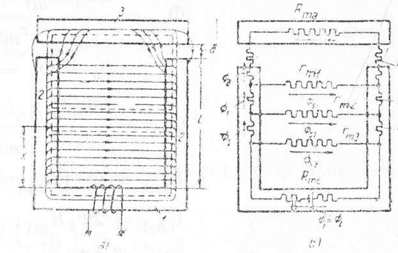


Fig. 52. — Circuitul magnetic al unui electromagnet în U:
a — schema reală; *b* — circuitul echivalent *1* — jug; *2* — coloană; *3* armătură.

În realitate trebuie deosebite fluxurile care nu pătrund deloc în zona utilă a circuitului magnetic (întrefierul util) şi acele fluxuri care după un parcurs în aer ajung totuşi în zona utilă.

Primele sînt fluxurile reale de dispersiune iar celelalte sînt *fluxuri marginale* (astfel la o maşină electrică fluxul care iese din coarnele pieselor polare ajunge în parte în indus şi participă la producerea forţei electromotoare).

Pe traseul unui circuit magnetic se întîlneşte o secţiune (la mijloc circuitul este simetric) prin care trece întreg fluxul util şi de scăpări.

Dela această secţiune se socotesc potenţialele magnetice în lungul circuitului.

Între fluxurile total Φ_t, de scăpări Φ_s şi util Φ_u este evidentă relaţia:

$$\Phi_t = \Phi_u + \Phi_s .$$

Raportul $\nu = \frac{\Phi_u}{\Phi_t}$ se numeşte coeficient de scăpări.

Calculul circuitelor magnetice se complică foarte mult prin existenţa fluxurilor de dispersiune. De aceea, determinarea precisă a valorii fluxului într-o anumită porţiune a circuitului este o problemă destul de grea. În scopul rezolvării acestei probleme, trebuie în primul rînd, să se traseze fluxurile principale de dispersiune şi să se neglijeze fluxurile de dispersiune secundare, care nu pot influenţa simţitor rezultatul calculului, dar care îl pot complica foarte mult.

γ) *Circuite echivalente cu reluctanţa concentrată.* În mod obişnuit însă calculul unor astfel de circuite se face în mod aproximativ prin împărţirea lor în porţiuni presupuse de reluctanţă constantă şi străbătute de către un flux constant, adică reluctanţa diferitelor porţiuni este presupusă concentrată; de asemenea f. m. m. Se foloseşte deci metoda înlocuirii circuitului magnetic real printr-un circuit echivalent căruia i se aplică apoi legile lui Kirchoff.

Circuitul echivalent celui din fig. 52, *a* este arătat în fig. 52, *b*. Fluxul principal Φ_δ se închide prin întrefierul util iar fluxurile de scăpări se stabilesc între cele două coloane.

Rezolvîndu-se acest circuit se ajunge la următoarele relaţii:

$$\Phi_1 = \Phi_\delta + \Phi_{s1};$$

(se presupune că fluxul în armătură $\Phi_a = \Phi_\delta$);

$$\Phi_{s1} = \Phi_\delta \frac{R_{ma} + 2R_{m\delta}}{r_{m1}};$$

$$\Phi_2 = \Phi_1 + \Phi_{s2};$$

$$\Phi_{s2} = \frac{2\Phi_1 R_{m1} + \Phi_{s1} r_{m1}}{r_{m2}};$$

$$\Phi_3 = \Phi_c = \Phi_2 + \Phi_{s2};$$

$$\Phi_{s3} = \frac{2\Phi_2 R_{m2} + \Phi_{s2} r_{m2}}{r_{m3}};$$

$$U_{m\delta} = \Phi\delta (R_{ma} + 2R_{m\delta});$$

$$U_{m1} = 2\Phi_1 R_{m1};$$

$$U_{m2} = 2\Phi_2 R_{m2};$$

$$U_{mc} = \Phi_c R_{mc};$$

$$Iw = U_{m\,total} = U_{m\delta} + U_{m1} + U_{m2} + U_{mc} = \Sigma\Phi_i R_{mi},$$

în care: Iw este f. m. m. a circuitului magnetic;
Φ_i — fluxul unei porțiuni oarecare;
R_{mi} — reluctanța unei porțiuni oarecare. Reluctanțele diferitelor porțiuni ale miezului se calculează din:

$$R_{mi} = \frac{\Delta l_i}{\mu S_i} = \frac{H \Delta l_i}{B S_i}$$

iar reluctanțele căilor fluxului în aer ($R_{m\delta}$, r_{m1} etc) care nu depind de valoarea inducției ci numai de dimensiuni geometrice, se calculează după cum se arată mai departe.

Prin această metodă se rezolvă direct problemele în care se dă fluxul în întrefier și se cere determinarea forței magnetomotoare.

Problemele în care se dă forța magnetomotoare și se cere fluxul se rezolvă prin aproximații succesive.

În unele cazuri rezolvarea circuitelor se simplifică foarte mult dacă reluctanțele căilor fluxurilor în aer sînt cu mult mai mari decît reluctanțele miezului, care pot fi deci neglijate.

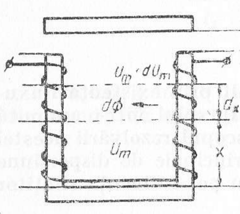


Fig. 53. — Circuit magnetic al unui electromagnet în U (cu permeanța scăpărilor uniform repartizată).

δ) *Circuite echivalente cu reluctanța uniform repartizată.* Dacă reluctanța circuitului magnetic este considerată uniform repartizată se ajunge la relații mai exacte. Astfel în cazul unui magnet în *U*, (fig. 53) alegîndu-se două secțiuni la distanța x și $x + dx$ de jug, pentru porțiunea de circuit astfel delimitată se poate scrie:

$$-d\Phi = U_m \Lambda_u \, dx;$$

$$dU_m = \frac{F_m}{l} dx - \Phi r_m dx,$$

în care: Φ este fluxul în miez înaintea secțiunii x;
$d\Phi$ — fluxul de scăpări între cele două miezuri pe porțiunea dx;
U_m — tensiunea magnetică;
r_m — reluctanța pe unitatea de lungime a miezului;
Λ_u — permeanța de scăpări pe unitatea de lungime a miezului.

Împărțind cu dx și derivînd, ecuațiile de mai sus devin:

$$-\frac{d^2\Phi}{dx^2} = \Lambda_u \frac{dU_m}{dx};$$

$$-\frac{d^2 U_m}{dx^2} = r_m \frac{d\Phi}{dx}.$$

Este de observat că s-a presupus Λ_u și r_m constante. Integrarea acestor ecuații conduce la relațiile:

$$\Phi = A_1 \operatorname{ch} \sqrt{2r_m \Lambda_u}\, x + A_2 \operatorname{sh} \sqrt{2r_m \Lambda_u}\, x + \frac{1}{2r_m};$$

$$U_m = B_1 \operatorname{ch} \sqrt{2r_m \Lambda_u}\, x + B_2 \operatorname{sh} \sqrt{2r_m \Lambda_u}\, x.$$

Electromagnet în U cu bobina pe jug. Astfel rezolvarea exactă a circuitului din fig. 52. conduce la relațiile:

$$U_{m0} = \frac{Iw}{1 + \frac{1}{\Lambda_j \operatorname{ch} \gamma l}\left[\frac{1}{\left(\frac{1}{\Lambda_\delta} + \frac{1}{\Lambda_a}\right)\operatorname{ch}\gamma l} + \frac{\gamma}{\Lambda_u}\operatorname{sh}\gamma l + \frac{\Lambda_u}{\gamma}\operatorname{sh}\gamma l\right]},$$

în care:

$$\frac{1}{\Lambda_j} = R_{mj} + R_{m\Delta}, \text{ iar: } \gamma = \sqrt{\Lambda_u r_{mm}} = \sqrt{\frac{\Lambda_u}{\mu S}}.$$

Dacă $\Lambda_j \to \infty$ $U_{m0} \to Iw$.

$$\Phi_x = \frac{U_{m0}}{\operatorname{ch}\gamma l}\left[\frac{\operatorname{ch}\gamma x}{\left(\frac{1}{\Lambda_\delta} + \frac{1}{\Lambda_a}\right)\operatorname{ch}\gamma l + \frac{\gamma}{\Lambda_u}\operatorname{sh}\gamma l} + \frac{\Lambda_u}{\gamma}\operatorname{sh}\gamma(l-x)\right];$$

$$\Phi_\delta = \frac{U_{m0}}{\left(\frac{1}{\Lambda_\delta} + \frac{1}{\Lambda_a}\right)\operatorname{ch}\gamma l + \frac{\gamma}{\Lambda_u}\operatorname{sh}\gamma l},$$

în care: U_{m0} este tensiunea magnetică între coloane pentru $x = 0$;
Λ_δ — permeanța întrefierului;
Λ_a — permeanța armăturii;
Λ_u — permeanța fluxului de scăpări, socotită pe o secțiune avînd latura în lungul coloanelor egală cu unitatea;
Λ_j — permeanța jugului;
r_{mm} — reluctanța miezului pe unitatea de lungime;
R_{mj} — reluctanța jugului;

$R_{m\Delta}$ — reluctanța întrefierului la îmbinarea coloanelor cu jugul;
S — secțiunea miezului;
Φ_x — fluxul într-o secțiune a miezului la distanța x de jug;
Φ_δ — fluxul în întrefier.

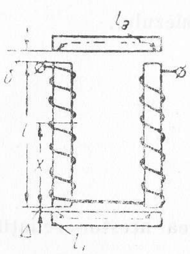


Fig. 54. — Electromagnet în U cu două întrefieruri și cu bobină repartizată pe cele două miezuri (schema reală).

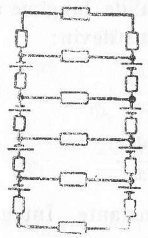


Fig. 55. Circuitul echivalent pentru fig. 54.

Dacă:

$$r_{mm} \to 0; \; \frac{1}{\Lambda_a} \to 0; \text{ și } \frac{1}{\Lambda_j} \to 0;$$

atunci:

$$\Phi_x = Iw\,[\Lambda_\delta + (l - x)\,\Lambda_u].$$

Electromagnet în U cu bobina repartizată pe cele două miezuri (fig. 54).

Circuitul echivalent este arătat în fig. 55.

Calculul exact efectuat pentru fluxul în miez la distanța x de jug (fig. 54) conduce la relația:

$$\Phi_x = \frac{Iw}{l r_{mm}}\left[1 - \frac{A_x\,[AZ_j + (CZ_j + 1)\,Z_a]}{B + A\,(Z_j + Z_a) + CZ_j Z_a} - \frac{C_x + Z_j\,[B + Z_a\,(A - 1)]}{B + A\,(Z_j + Z_a) + CZ_j\,Z_a}\right],$$

în care: $A = \operatorname{ch}\gamma l$; $A_x = \operatorname{ch}\gamma x$; $B = Z_m \operatorname{sh}\gamma l$;

$$C = \frac{1}{Z_m}\operatorname{sh}\gamma l; \; C_x = \frac{1}{Z_m}\operatorname{sh}\gamma x;$$

$$\gamma = \sqrt{r_{mm}\,\Lambda_u}; \; Z_m = \sqrt{\frac{r_{mm}}{\Lambda_u}}; \; r_{mm} = \frac{1}{\mu s_m};$$

$$Z_j = \frac{1}{\Lambda_\Delta} + R_{mj}; \; R_{mj} = \frac{l_j}{\mu s_j};$$

$$Z_a = \frac{1}{\Lambda_\delta} + R_{ma}; \; R_{ma} = \frac{l_a}{\mu s_a}.$$

Dacă:

$$Z_j \to 0, \; r_{mm} \to 0 \text{ și } R_{ma} \to 0,$$

$$\Phi_x = Iw\left[\Lambda_\delta + \Lambda_u \frac{l^2 - x^2}{2}\right];$$

$$\Phi_\delta = Iw\Lambda_\delta$$

și:

$$\Phi_{sx} = Iw\frac{\Lambda_u\,x^2}{2l},$$

în care: Φ_{sx} este fluxul de dispersiune la distanța x de jug.

Celelalte notații au aceeași semnificație ca în cazul precedent.

Electromagnet cu piston în carcasă. În sfîrșit se mai consideră și cazul din fig. 56.

Fluxul de dispersiune se stabilește între miez (piston și tampon) și carcasă (fig. 57). Neglijînd reluctanța miezului și carcasei se ajunge la relațiile ce urmează.

Fluxul în piston la distanța x rezultă din:

$$\Phi_x = \Phi_\delta + \Phi_{sx} + \Phi_{sm};$$

$$\Phi_\delta = Iw\,\Lambda_\delta = \frac{Iw\mu_0\pi r^2}{\delta}.$$

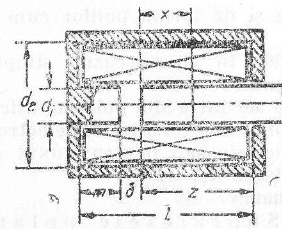


Fig. 56. — Electromagnet cu piston în carcasă.

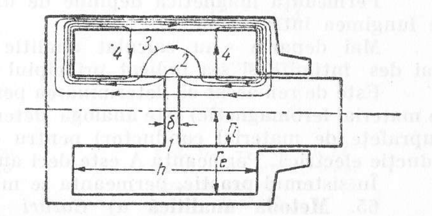


Fig. 57. — Fluxurile electromagnetului cu piston și carcasă:
1 — flux principal; *2* — flux marginal; *3* și *4* — fluxuri de scăpări.

Fluxul de dispersiune corespunzător porțiunii x este dat de:

$$\Phi_{sx} = \frac{Iw\Lambda_u}{l}\int_0^x (z - x)\,dx = \frac{Iw\Lambda_u}{l}\left(zx - \frac{x^2}{2}\right).$$

Relațiile se pot aplica și în cazul cînd capătul pistonului este conic.

Fluxul total înlănțuit de toate spirele, valoare necesară pentru calculele care vor urma, se stabilește astfel:

Fluxul principal înlănțuit de toate spirele:

$$\psi_\delta = \frac{Iw^2\,\mu_0\,\pi r^2}{\delta}.$$

Fluxul înlănțuit de dispersiune între piston și carcasă:

$$\psi_{sz} = I\Lambda_u\int_0^z\left[\frac{w^2\,(z - x)}{l}\right]^2 dx = \frac{I\Lambda_u\,w^2\,z^3}{3l^2}.$$

Fluxul înlănțuit de dispersiune între tampon și carcasă:

$$\psi_{sm} = \frac{I\Lambda_u\,w^2\,m^3}{3l^2}.$$

Deci:

$$\psi = \psi_\delta + \psi_{sz} + \psi_{sm} = Iw^2\left(\frac{\mu_0\,\pi r^2}{\delta} + \Lambda_u\frac{z^3 + m^3}{3l^2}\right).$$

Este de observat că aplicarea tuturor relațiilor date mai înainte presupune că permeabilitatea materialului circuitului este constantă.

Rezolvarea circuitelor magnetice în cazul permeabilității variabile impune rezolvarea pe cale grafică a ecuațiilor diferențiale de bază.

c) Determinarea permeanței căilor fluxului în aer.

64. **Metode de determinare.** Calculul riguros al permeanței căilor fluxului[1] în aer este imposibil, exceptînd unele cazuri speciale, din cauză că fluxul nu poate fi limitat la un traseu care să fie exprimat printr-o relație matematică simplă. Deaceea, calculele cer ipoteze simplificatoare sau se aplică metode grafice prin desenarea imaginii cîmpului. În orice caz, este însă necesară multă experiență pentru a alege calea de flux cea mai probabilă.

În această alegere, trebuie ținut seama că, pentru o anumită forță magnetomotoare, drumul fluxului se stabilește astfel încît să se ajungă la maximum de flux și deci permeanța căii de flux să fie maximă.

Permeanța magnetică depinde de dimensiunile și de forma polilor cum și de lungimea întrefierului.

Mai departe s-au calculat analitic permeanțele în cîteva cazuri simple, mai des întîlnite și s-a indicat principiul metodei grafice.

Este de remarcat că determinarea permeanței în aer între doi poli (suprafețe de material feromagnetic) este analogă determinării conductanței între doi electrozi (suprafețe de material conductor) pentru curentul electric sau pentru fluxul de inducție electrică. Permeanța Λ este deci analogă conductanței G.

În sistemul practic, permeanța se măsoară în henry.

65. **Metoda analitică** α) *Cazuri generale.* S u p r a f e ț e l e p o l a r e p l a n e paralele (presupuse extinse la infinit). În acest caz liniile de forță sînt

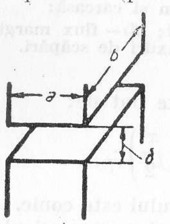


Fig. 58. — Suprafețe polare plane.

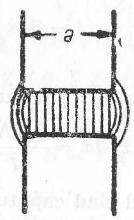


Fig. 59. — Curbarea liniilor de forță în întrefier.

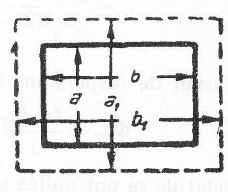


Fig. 60. — Pol real și pol fictiv.

perpendiculare pe cele două suprafețe, iar suprafețele echipotențiale sînt paralele acestora. Limitînd porțiunile $S = a \cdot b$ din suprafețele polare (fig. 58), drumul fluxului va fi astfel o prismă dreaptă, iar permeanța rezultă din expresia:

$$\Lambda_\delta = \mu_0 \frac{S}{\delta}.$$

În realitate, liniile de forță se curbează la marginea întrefierului, fig. 59 și deci ele nu mai sînt drepte. Deaceea permeanța este în realitate mai mare decît acea dată de relația de mai sus.

În consecință trebuie făcută o corecție spre a ține seama de fenomenul curbării liniilor de forță. Metoda[1]) constă în înlocuirea dimensiunilor reale ale polilor a și b prin dimensiuni fictive a_1 și b_1 (fig. 60), astfel încît în acest caz permeanța spațiului de aer va fi:

$$\Lambda_\delta = \mu_0 \frac{a_1 b_1}{\delta}.$$

[1]) A. I. Builov — Bazele construcției aparatelor electrice, traducere din limba rusă. Editura Energetică de Stat București, 1954.

Raportul dintre dimensiunile reale ale polilor și cele fictive depind de forma acestor poli și de plasarea lor reciprocă, putîndu-se în general scrie

$$a_1 = a\,(1 + x);$$

$$b_1 = b\,(1 + y).$$

Diagramele din fig. 63 și 64 dau valorile lui x și y în funcție de δ și de dimensiunile a și b pentru forma de plasare a polilor respectivi din fig. 61 și 62.

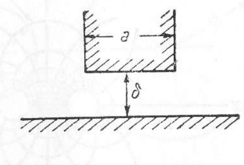


Fig. 61. — Forma *I*: Pol cu dimensiuni finite și pol cu dimensiuni infinite.

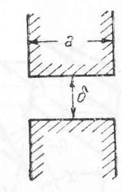


Fig. 62. — Forma *II*: ambii poli au aceleași dimensiuni și sînt față în față.

Un alt mijloc de a ține seama de fluxul marginal este folosirea formulei:

$$\Lambda_\delta = \frac{\mu_0}{\delta}\left(a + \frac{0{,}307\,\delta}{\pi}\right)\left(b + \frac{0{,}307\,\delta}{\pi}\right).$$

Relațiile indicate sînt aplicabile atît suprafețelor polare dreptunghiulare cît și celor circulare.

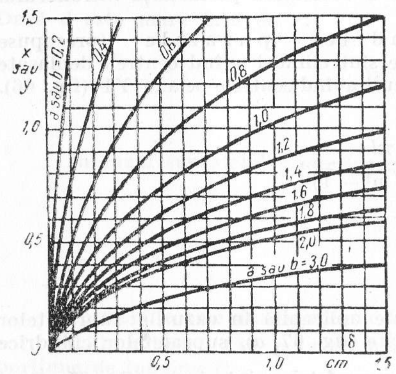


Fig. 63. — Mărimile x și y pentru forma *I*.

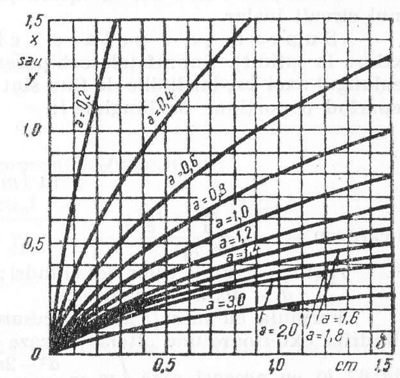


Fig. 64. — Mărimile x și y pentru forma *II*.

Valabilitatea lor este condiționată de un întrefier redus în raport cu extinderea suprafețelor polare.

În toate formulele care urmează permeanța s-a stabilit fără a se ține seamă de curbura liniilor de forță.

S u p r a f e ț e l e p o l a r e p l a n e n e p a r a l e l e (presupuse extinse la infinit). Liniile de forță sînt arcuri de cerc cu centrele pe axa OO. Suprafețele echipotențiale sînt planuri trecînd prin axa OO (fig. 65).

Permeanța unui tub elementar este:

$$d\Lambda_\delta = \mu_0 \frac{l\,dr}{\alpha r}$$

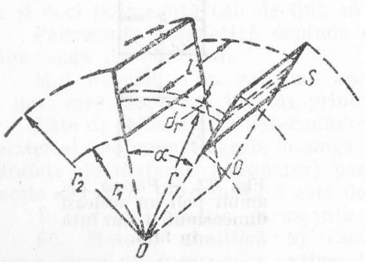


Fig. 65. — Suprafețe polare neparalele.

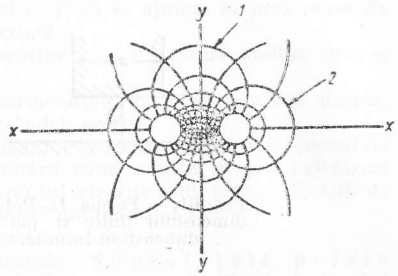


Fig. 66. — Suprafețele polare cilindrice: 1 — flux; 2 — linie echipotențială.

iar permeanța totală:

$$\Lambda_\delta = \frac{\mu_0 l}{\alpha}\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 l}{\alpha}\ln\frac{r_2}{r_1}.$$

Formula de mai sus se aplică pentru a determina permeanța întrefierului unui circuit inelar.

S u p r a f e ț e p o l a r e c i l i n d r i c e p a r a l e l e (presupuse extinse la infinit). Suprafețele echipotențiale sînt cilindri avînd centrele deplasate dealungul axei xx, iar liniile de flux sînt cercuri avînd centrele pe axa YY (fig. 66). Separînd o porțiune de lungime l:

$$\Lambda_\delta = \frac{2\mu_0\pi l}{\ln\left(m+\sqrt{m^2-1}\right)},$$

în care: $m = \dfrac{d^2 - r_1^2 - r_2^2}{2r_1 r_2}$;

r_1 și r_2 — razele celor doi cilindri;

d — distanța centrelor.

Formula cu modificările necesare, este aplicabilă în cazurile: suprafețelor cilindrice exterioare una alteia, cu raze diferite (fig. 67, *a*), suprafețelor cilindrice (fig. 67, *b*) cu aceeași rază $\left(m = \dfrac{d^2-2r^2}{2r^2}\right)$, suprafețelor interioare (fig. 67, *c*) și excentrice $\left(m = \dfrac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1 r_2}\right)$, suprafețelor interioare (fig. 67, *d*) și concentrice $\left(m = \dfrac{r_1^2 + r_2^2}{2r_1 r_2}\right)$

Rezultă deci următoarele relații pentru permeanță:

În cazul suprafețelor cilindrice exterioare cu aceeași rază (fig. 67, *b*):

$$\Lambda_\delta = \frac{\mu_0\pi l}{\ln\dfrac{d+\sqrt{d^2-4r^2}}{2r}} = \frac{\mu_0\pi l}{\ln\left(\dfrac{d}{2r}+\sqrt{\left(\dfrac{d}{2r}\right)^2-1}\right)}.$$

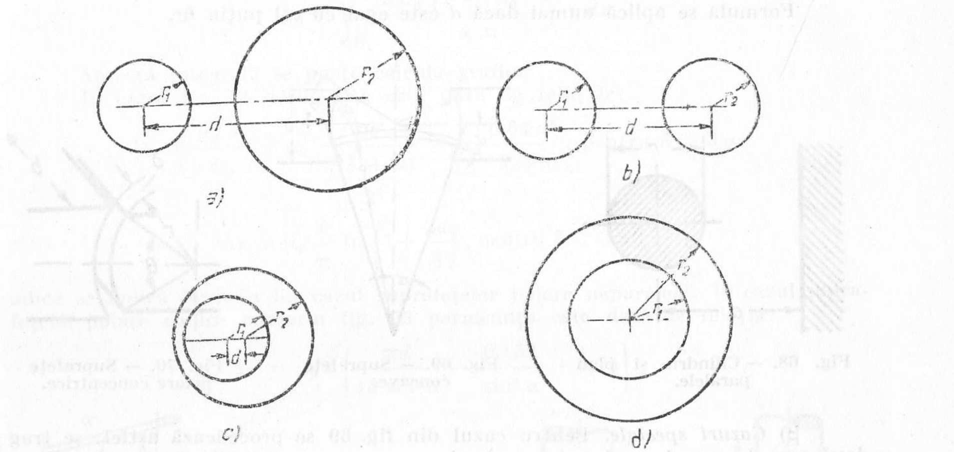


Fig. 67. — Diferite poziții reciproce ale suprafețelor cilindrice.

Dacă d este mare față de r:

$$\Lambda_\delta = \frac{\mu_0\pi l}{\ln\dfrac{d}{r}}$$

În cazul suprafețelor interioare și concentrice (fig. 67*d*):

$$\Lambda_\delta = \frac{2\pi\mu_0 l}{\ln\dfrac{r_2}{r_1}}.$$

Permeanța este dublă, aceleia din cazul precedent.

C i l i n d r u și p l a n p a r a l e l e (extinse la infinit). Separînd o porțiune de lungime l:

$$\Lambda_\delta = \frac{2\mu_0\pi l}{\ln\dfrac{d}{r}},$$

în care d este dublul distanței dintre centrul cilindrului și plan,

S f e r e d e a c e i a ş i r a z ă:

$$\Lambda_\delta = \frac{2\mu_0 \pi}{\frac{1}{r} - \frac{1}{d}},$$

în care d este distanţa dintre centre iar r raza sferelor.
Formula se aplică numai dacă d este egal cu cel puţin $6r$.

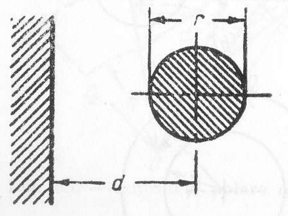


Fig. 68. — Cilindru şi plan paralele.

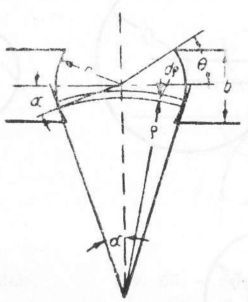


Fig. 69. — Suprafeţe concave.

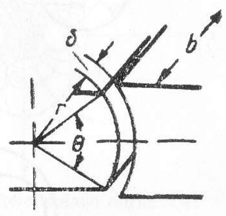


Fig. 70. — Suprafeţe polare concentrice.

β) *Cazuri speciale.* Pentru cazul din fig. 69 se procedează astfel: se trag două arce de cerc de rază ρ şi ρ + dρ şi se presupune că liniile de forţă urmează acest drum. Permeanţa tubului elementar, de lăţime l, este:

$$d\Lambda_\delta = \frac{\mu_0 r d\alpha}{2\rho\alpha}.$$

Dar:

$$r = \rho \operatorname{tg} \alpha$$

şi deci:

$$d\Lambda_\delta = \frac{\mu_0 \operatorname{tg} \alpha d\alpha}{2\alpha}.$$

Aceeaşi construcţie se poate face şi în jumătatea superioară. Permeanţa totală va fi deci:

$$\Lambda = 2\int_0^\theta d\Lambda_\delta = \int_0^\theta \frac{\mu_0 \operatorname{tg} \alpha \, d\alpha}{2\alpha}.$$

Integrala nu se poate rezolva analitic, ci numai grafic.
În cazul din fig. 70:

$$\Lambda_\delta = \frac{\mu_0 b \theta}{\ln\left(1 + \frac{\delta}{r}\right)}.$$

În cazul fig. 71 liniile de forţă sînt presupuse a fi concentrice:

$$d\Lambda_\delta = \frac{\mu_0 y \, dx}{\alpha x}.$$

Dar

$$y = 2\sqrt{r^2 - (R_0 - x)^2};$$

$$\Lambda_\delta = \int_{R_1}^{R_2} \frac{2\mu_0 \sqrt{r^2 - (R_0 - x)^2}}{\alpha x} dx.$$

Această integrală se poate calcula grafic.
În cazul fig. 72 permeanţa este dată de relaţiile:

$$\Lambda_\delta = \frac{\mu_0 S}{l} = \mu_0 \frac{ab}{\frac{\pi(\delta + a)}{2}} = \mu_0 \frac{0{,}64\, ab}{\delta + a}, \text{ pentru } \delta \geq 3a;$$

$$\Lambda_\delta = \mu_0 \frac{b}{\pi} \ln\left(1 + \frac{2a}{\delta}\right), \text{ pentru } \delta < 3a.$$

adică se aplică formula din cazul suprafeţelor polare neparalele. În cazul suprafeţelor polare conice conform fig. 73 permeanţa este dată de relaţia:

$$\Lambda_\delta = \mu_0 d\left(\frac{\pi d}{4\delta \sin^2 \alpha} - \frac{0{,}157}{\sin^2 \alpha} + 0{,}75\right).$$

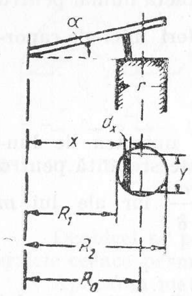


Fig. 71. — Electromagnet cu clapetă.

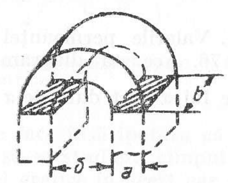


Fig. 72. — Suprafeţele polare în acelaşi plan.

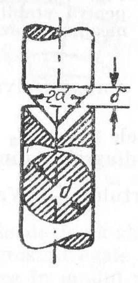


Fig. 73. — Suprafeţe polare conice.

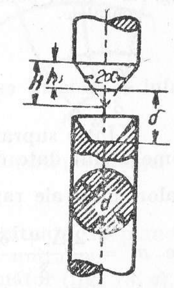


Fig. 74. — Suprafeţe polare tronconice.

În cazul suprafeţelor polare tronconice conform fig. 74 permeanţa este dată de relaţia:

$$\Lambda_\delta = \mu_0 d \left\{ \frac{\pi d}{4\delta \sin^2 \alpha} - \frac{0{,}157}{\sin^2 \alpha} + \frac{1{,}97}{\sin \alpha}\left(1 - \eta_1\right)\left[\frac{0{,}6 - \eta_1}{\ln\left(1 + \frac{\delta}{d}\sin 2\alpha\right)} + \frac{1 + \eta_1}{\ln\left(1 + 5\frac{\delta}{d}\sin 2\alpha\right)}\right] + 0{,}75\right\},$$

în care: $\eta = \frac{h}{H}$.

Dacă:

$$\frac{\delta}{d} < \frac{\eta}{\sin 2\alpha}, \quad \text{atunci } \eta_1 = \eta + 0{,}29 \operatorname{tg}(1+\eta);$$

$$\frac{\delta}{d} \geqslant \frac{\eta}{\sin 2\alpha}, \quad \eta_1 = \frac{\delta}{d} \sin 2\alpha;$$

$$\frac{\delta}{d} > \frac{1}{2 \operatorname{tg} \alpha}, \quad \eta_1 = 1{,}0.$$

În cazul fig. 75 expresia permeanței este diferită după fețele între care se stabilește tensiunea magnetică.

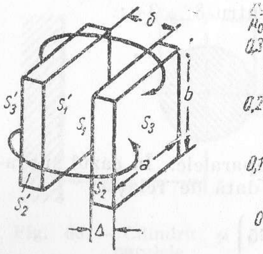


Fig. 75. — Plăci polare paralele.

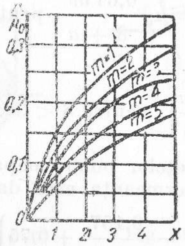


Fig. 76. — Diagramă pentru stabilirea permeanței în cazul fig. 75.

Între suprafețele polare S_1 și S_1':

$$\Lambda_\delta = \frac{\mu_0}{\delta}\left(a + \frac{0{,}307\,\delta}{\pi}\right)\left(b + \frac{0{,}307\,\delta}{\pi}\right).$$

Între suprafețele polare S_2 și S_2'

$$\Lambda_\delta = \frac{\mu_0 b}{2\pi} \ln\left(2m^2 - 1 + 2m\sqrt{m^2-1}\right),$$

în care: $m = \frac{2\Delta + \delta}{\delta}$.

Relația este exactă numai pentru $\frac{b}{\delta} \to \infty$; pentru valori mici ale raportului $\frac{b}{\delta}$ relația este aproximativă.

Între suprafețele polare S_3 și S_3'. Valorile permeanței pe unitatea de lungime b sînt date de diagrama din fig. 76. Această diagramă este stabilită pentru valori mari ale raportului $\frac{b}{\delta}$. Valorile lui x sînt date de $x = \frac{a}{\delta}$ iar ale lui m de $m = \frac{2\Delta + \delta}{\delta}$.

γ) *Cîmpuri cu configurație complexă.* În cazurile cînd configurația cîmpului este complexă se descompune spațiul în tuburi de forma unor corpuri geometrice simple.

Permeanța unui astfel de tub este:

$$\Lambda = \frac{\mu_0 S}{l_m} = \frac{\mu_0 V}{l_m^2},$$

în care: S este secțiunea tubului de forță;
V — volumul tubului;
l_m — lungimea medie a tubului.

Permeanțele astfel determinate, pentru cîteva corpuri geometrice sînt următoarele:

Prismă (fig. 77, *a*):

$$\Lambda = \frac{\mu_0 ab}{\delta}.$$

Semi-inel (fig. 77, *c*):

$$\Lambda = \frac{\mu_0\, 0{,}64\, a\Delta}{\delta + \Delta}, \quad \text{pentru } \delta \geqslant 3\,\Delta;$$

$$\Lambda = \mu_0 \frac{a}{\pi} \ln\left(1 + \frac{2\Delta}{\delta}\right), \quad \text{pentru } \delta < 3\Delta.$$

Semi-cilindru (fig. 77 *b*):

$$\Lambda = \mu_0\, 0{,}26\, a.$$

Sfert de sferă (fig. 77 *d*):

$$\Lambda = \mu_0\, 0{,}077\, \delta.$$

66. **Metoda grafică** constă în desenarea liniilor de forță și a celor echipotențiale astfel încît întregul volum al cîmpului să fie divizat în volume mai mici de aceeași permeanță.

Permeanța întregului cîmp este apoi obținută prin adunarea acestor unități. Metoda prezintă dificultăți în special în trasarea liniilor de flux și echipotențiale în cîmpul tridimensional înconjurînd polii care au părți ascuțite.

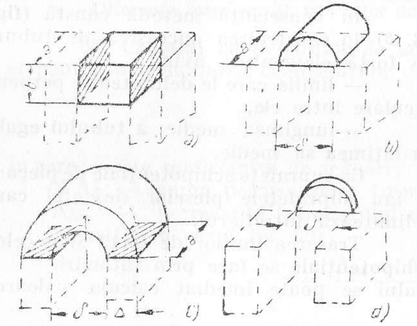


Fig. 77. — Tuburi de forță de forma corpurilor geometrice.

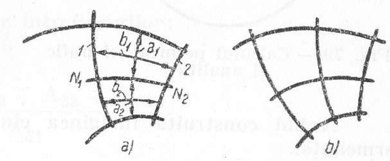


Fig. 78. — Stabilirea grafică a permeanței în aer.

Deobicei se poate face însă ipoteza că liniile de forță sînt situate în plane paralele ceeace permite să se studieze cîmpul pe grosimi egale cu unitatea.

Aplicarea metodei grafice în acest caz se face în modul următor (fig. 78, *a*). Se pleacă de la două curbe echipotențiale a căror formă este cunoscută și a căror potențiale sînt V_{m_1} și V_{m_2} cum și de la două linii de forță *1* și *2*. În tubul de forță delimitat de *1* și *2* este un flux constant $\Delta\,\Phi$. Se trasează o curbă echipotențială intermediară care să aibă potențialul egal cu $\frac{V_{m_1} + V_{m_2}}{2}$.

Această curbă satisface următoarele condiții:
— în punctele de intersecție N_1 și N_2 face cu liniile de forță unghiuri drepte,
— permeanțele celor două elemente 1 și 2 sînt egale deoarece:

$$\Lambda_1 = \Lambda_2 = \frac{\Delta\,\Phi}{\frac{\Delta V_m}{2}},$$

ΔV_m fiind egal cu $V_{m_1} - V_{m_2}$.

Dar:

$$\Lambda_1 = \frac{\mu_0 \cdot 1 \cdot b_1}{a_1} \text{ și } \Lambda_2 = \frac{\mu_0 \cdot 1 \cdot b_2}{a_2}$$

și deci:

$$\frac{b_1}{a_1} = \frac{b_2}{a_2},$$

adică raportul dintre lățimea medie a fiecărui element și lungimea medie este constant.

Dacă se trasează curbele în mod convenabil $b_1 = a_1$ și deci permeanțele sînt egale cu unitatea (făcînd abstracție de μ_0).

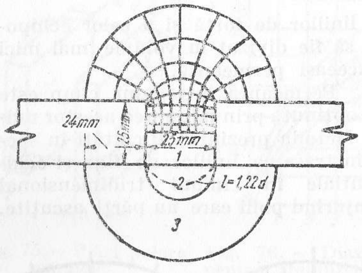


Fig. 79. — Calculul permeanței grafic și analitic.

Trasînd linii echipotențiale și de forță intermediare se va obține divizarea imaginii cîmpului în tuburi elementare de dimensiuni mai mici, divizare necesară acolo unde cîmpul prezintă neuniformități.

În consecință metoda constă (fig. 78, *b*) în construirea succesivă de tuburi de forță elementare avînd:

— liniile care le delimitează perpendiculare între ele,

— lungimea medie a tubului egală cu lățimea sa medie.

Ca suprafețe echipotențiale de plecare se iau suprafețele pieselor de oțel care delimitează întrefierul.

Trasarea liniilor de forță și a celor echipotențiale se face prin tatonări.

Avînd construită imaginea cîmpului se poate imediat calcula valoarea permeanței.

Permeanța unui tub compus din n elemente unitare este $\frac{1}{n}$ iar a cîmpului constituit din m asemenea tuburi și avînd grosimea h este:

$$\Lambda_\delta = \frac{\mu_0\, m\, h}{n}.$$

Aplicație. Să se calculeze permeanța în cazul fig. 79 adică a două miezuri extinse la infinit și depărtate între ele cu 25 mm. Nu se vor lua în considerare liniile magnetice care se găsesc dincolo de distanța de 24 mm socotită de la capetele polare. Se presupune grosimea egală cu unitatea.

În jumătatea superioară a figurii spațiul permeanței este descompus în 8 elemente în serie și 16 în paralel.

Valoarea unui element este:

$$\Lambda = \frac{\mu_0\, S}{l} = \frac{\mu_0 \cdot 1}{1} = \mu_0\,;$$

deci:

$$\Lambda_\delta = \frac{16\ \mu_0}{8} = 2\ \mu_0.$$

În jumătatea inferioară a figurii spațiul permeanței este descompus în trei figuri geometrice *1*, *2* și *3*.

Permeanța figurii *1* este aceea dată de relația:

$$\Lambda_1 = \frac{\mu_0\, S}{l} = \frac{\mu_0 \cdot 0{,}0125}{0{,}025} = \frac{\mu_0}{2}.$$

Permeanța figurii *2* este aceea a unei prisme semi-cilindrice. Suprafața medie de trecere a fluxului se va găsi împărțind volumul prismei $\frac{\pi\, d^2}{8}$ prin lungimea liniei magnetice medii 1,22 d. Deci:

$$S = \frac{\frac{\pi\, d^2}{8}}{1{,}22\ d} = 0{,}322\ d\,;$$

$$\Lambda_2 = \frac{\mu_0\ S}{l} = \frac{\mu_0 \cdot 0{,}322\, d}{1{,}22\ d} = 0{,}26\ \mu_0.$$

Permeanța figurii *3* este dată de relația:

$$\Lambda_3 = \frac{\mu_0}{\pi} \lg \frac{r_2}{r_1} = \frac{\mu_0}{3{,}14} \lg \frac{36{,}5}{12{,}5} = 0{,}34\ \mu_0.$$

Permeanța totală rezultă:

$$\Lambda = 2\ (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3) = 2\left(\frac{1}{2} + 0{,}26 + 0{,}34\right) \mu_0 = 2{,}20\ \mu_0.$$

Diferența între rezultatele celor două metode este admisibilă..

67. **Calculul coeficienților de scăpări.** Metoda analitică poate fi folosită și pentru determinarea coeficienților de scăpări:

$$\nu = \frac{\Sigma\, \Lambda_\delta}{\Lambda_{\delta u}},$$

în care: ν este coeficientul de scăpări;

$\Sigma\, \Lambda_\delta$ — suma permeanțelor tuturor întrefierurilor;

$\Lambda_{\delta u}$ — permeanța întrefierului util.

Astfel în cazul fig. 79:

$$\gamma = \frac{\Lambda_{\delta 1} + \Lambda_{\delta 2} + \Lambda_{\delta 3} + \Lambda_{\delta 4}}{\Lambda_{\delta 1}}.$$

d) Calculul circuitelor magnetice în curent alternativ

68. **Generalități.** Calculul prezintă în acest caz unele particularități datorate inductanței și pierderilor prin histerezis și curenți turbionari:

— Fluxurile diferitelor porțiuni ale circuitului magnetic pot fi defazate între ele.

— Fluxul total este determinat de tensiunea de alimentare (în curent continuu depinde de reluctanța circuitului), iar curentul depinde de reluctanța circuitului magnetic (în curent continuu de tensiunea de alimentare și de rezistența ohmică).

În curent alternativ, la aplicarea metodei circuitelor echivalente, diferitele porțiuni de circuit magnetic trebuie să fie reprezentate prin impedanțe magnetice complexe (a se vedea aplicarea la paragraful 72).

În circuitele de curent alternativ, cărora li se aplică o tensiune constantă (cazul cel mai obișnuit) relația dintre valorile instantanee este:

$$u = \frac{d(w\varphi)}{dt} + i\,R,$$

(literele mici însemnînd valorile instantanee).

Se va examina aplicarea acestei relații în cîteva ipoteze făcute asupra circuitelor.

69. Calculul în cazul neglijării căderii de tensiune magnetică. Neglijînd fenomenul histerezis şi curenţii turbionari, presupunînd că fluxul este proporţional cu curentul (fig. 80) şi că este sinusoidal [1]):

$$\varphi = \Phi_M \sin \omega t;$$

$$i = I_M \sin \omega t;$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega\, \Phi_M \cos \omega t.$$

Dar:

$$\Phi_M = F_{mM}\, \Lambda = w I_M\, \Lambda;$$

deci:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega\, w\, \Lambda\, I_M \cos \omega t,$$

relaţii în care s-au notat cu indicele M valorile maxime.

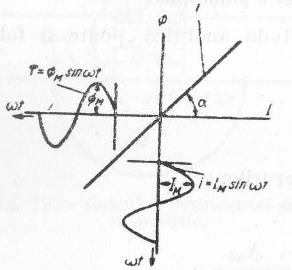


Fig. 80. —Relaţia dintre flux şi curent pentru partea dreaptă a curbei de magnetizare:
1 — curba de magnetizare.

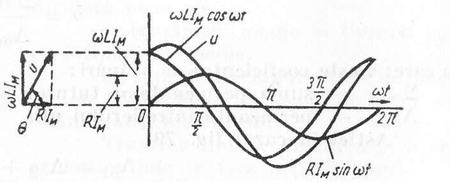


Fig. 81. — Diagrama valorilor instantanee şi diagrama vectorială.

În consecinţă:

$$u = \omega\, w^2\, \Lambda\, I_M \cos \omega t + I_M\, R \sin \omega t.$$

Dar $w^2\, \Lambda$ este inductanţa circuitului, L.
Deci:

$$u = \omega L I_M \cos \omega t + R I_M \sin \omega t = \sqrt{\omega^2\, L^2 + R^2}\; I_M \sin (\omega t + \theta).$$

Fig. 81 arată compunerea valorilor instantanee şi diagrama vectorială corespunzătoare din care rezultă:

$$\overline{U} = IR + jIX_L,$$

sau:

$$U = I\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}\,.$$

[1]) Aceste ipoteze se pot considera valabile numai la saturaţii mici ale miezului de oţel.
La inducţii mari raportul dintre flux şi curentul magnetizant descreşte pe măsură ce creşte fluxul. În acest caz curba curentului (în cazul aplicării unei tensiuni sinusoidale se deformează ascuţindu-se, punînd în evidenţă astfel armonicile a treia, apoi a cincea.
Dacă se ţine seama şi de fenomenul histerezis se ajunge la situaţia arătată în fig. 39.

Tensiunea corespunzătoare reactanţei se mai poate scrie:

$$U_L = IX_L = I\omega L = \frac{\omega w\, \Phi_M}{I_M} \cdot \frac{I_M}{\sqrt{2}} = \frac{\omega w\, \Phi_M}{\sqrt{2}}\,,$$

sau:

$$U_L = 4{,}44\, f w \Phi_M.$$

Dar:

$$U_L = \sqrt{U^2 - I^2 R^2}.$$

Neglijînd pierderile ohmice în bobină, adică admiţînd $U \approx U_L$, se deduce că unei tensiuni aplicate bobinei îi corespunde o anumită valoare a fluxului (care rezultă din relaţia dată), iar curentul se stabileşte la o valoare încît să se producă acest flux, spre deosebire de cazul curentului continuu, cînd $I = \dfrac{U}{R}$.

Dacă tensiunea aplicată este constantă, $w\Phi_M$ va fi constant: dacă fluxul întretaie toate spirele, Φ_M va fi şi el constant.
Cunoscînd pe Φ_M, se calculează numărul spirelor din:

$$w = \frac{U}{4{,}44\, f\Phi_M}\,.$$

Este de observat că în curent continuu F_m poate fi realizat prin orice număr de spire, pe cînd în curent alternativ numărul spirelor este bine definit pentru Φ_M dat.
În cazul general, adică:

$$U = IR + jU_L = IR + j\, 4{,}44\, fw\, \Phi_M,$$

se deduce că:

$$w \approx \frac{U}{4{,}44\, f\, \Phi_M} - \frac{IwR}{2U}\left[2 \sin \theta + \frac{4{,}44\, \Phi_M\, fR\, Iw}{U^2 - 8{,}88\, \Phi_M\, fR\, Iw \sin \theta}\right],$$

în care θ este defazajul dintre Φ şi Iw.
În cazul cînd $\theta = 0$:

$$w \approx \frac{U}{4{,}44\, f\, \Phi_M} - \frac{4{,}44\, \Phi_M\, f\, (IwR)^2}{2U^3}\,.$$

Dacă:

$$\frac{U}{I} \gg R,$$

$$w \approx \frac{U}{4{,}44\, f\, \Phi_M}\,.$$

α) *Electromagnet în U.* Se consideră circuitului magnetic din figura 52 al unui electromagnet în U şi se presupune fluxul de dispersiune neglijabil faţă de cel total.

Admiţînd că pentru întrefier $\Lambda_\delta = \dfrac{\mu_0 S}{2\delta}$ şi neglijînd căderea de tensiune magnetică în miezul de oţel:

$$F_{mM} = I_M w = \frac{\Phi_M}{\Lambda_\delta} = \Phi_M \frac{2\delta}{\mu_0 S}\,,$$

deci:

$$I_M = \frac{2\delta\ \Phi_M}{\mu_0\ wS} = \frac{2U\delta}{4{,}44\ f\ \mu_0\ w^2\ S}.$$

Deci curentul în bobină este direct proporţional cu valoarea întrefierului, adică are o valoare mare în poziţia deschisă a armăturii şi o valoare mică în poziţia închisă.

Dacă se consideră şi fluxul de dispersiune, fluxul total al bobinei este:

$$\Phi_M = I_M\ w\left(\frac{S}{2\delta} + l\Lambda_u\right),$$

iar curentul maxim:

$$I_M = \frac{U\delta}{2{,}22\ fw^2\ (S + 2l\ \Lambda_u\ \delta)},$$

în care Λ_u este permeanţa fluxului de dispersiune pe unitatea de lungime a miezului.

Se constată că în acest caz variaţia curentului de magnetizare în funcţie de întrefier este mai înceată faţă de cazul cînd se neglijează fluxul de dispersiune.

Dacă S este foarte mic faţă de $2l\Lambda_u\ \delta$, rezultă că I_M este constant.

În cazul electromagnetului din fig 54, cînd bobina este repartizată pe cele două miezuri:

$$I_M = \frac{U}{4{,}44\ fw^2\left(\frac{\mu_0\ S}{2\delta} + \frac{l\Lambda_u}{3}\right)};$$

$$\psi_M = I_M\ w^2\left(\frac{\mu_0\ S}{2\delta} + \frac{l\ \Lambda_u}{3}\right).$$

β) *Electromagnet cu piston în carcasă.* În cazul electromagnetului în carcasă din fig. 56 fluxul de dispersiune se stabileşte între carcasă şi piston plus tampon:

$$I_M = \frac{U}{4{,}44\ fw^2\left(\frac{\mu_0\ \pi r^2}{\delta} + \Lambda_u\ \frac{z^3 + m^3}{3l^2}\right)},$$

iar:

$$\psi_M = I_M\ w^2\left(\frac{\mu_0 \pi r^2}{\delta} + \Lambda_u\ \frac{z^3 + m^3}{3l^2}\right),$$

căci:

$$\psi_M = \frac{U}{4{,}44\ f}.$$

Aici, Λ_u este permeanţa fluxului de dispersiune pe unitatea de lungime a carcasei: $\Lambda_u = \dfrac{2\pi\ \mu_0}{\ln \dfrac{D}{d}}$.

70. Calculul în cazul cînd se ţine seama de căderea de tensiune magnetică La stabilirea relaţiilor de mai înainte s-a neglijat reluctanţa conductorului magnetic.

Cînd întrefierul este mic această ipoteză simplificatoare poate conduce la erori mari şi în consecinţă nu se mai poate neglija reluctanţa.

Calculul se face atunci împărţind circuitul magnetic în mai multe porţiuni.

Astfel, procedînd de exemplu în cazul electromagnetului în U. (fig 52), dacă sînt date Φ_δ şi U se determină forţa magnetomotoare totală F_{mM} şi Φ_M ce trece prin bobină.

În consecinţă:

$$w = \frac{U}{4{,}44\ f\ \Phi_M},$$

iar:

$$I_M = \frac{F_{mM}}{w}.$$

Dacă se dă w şi U, se iau diferite valori pentru Φ_δ, se calculează valorile corespunzătoare ale lui Φ_M şi se trasează curba $\Phi_M = f(\Phi_\delta)$

Apoi, din relaţia:

$$\Phi_M = \frac{U}{4{,}44\ fw},$$

se scoate Φ_M şi apoi se deduce Φ_δ din curbă.

Cu valoarea obţinută se calculează f.m.m. şi apoi I_M.

Pentru circuite mai complicate calculul devine foarte laborios.

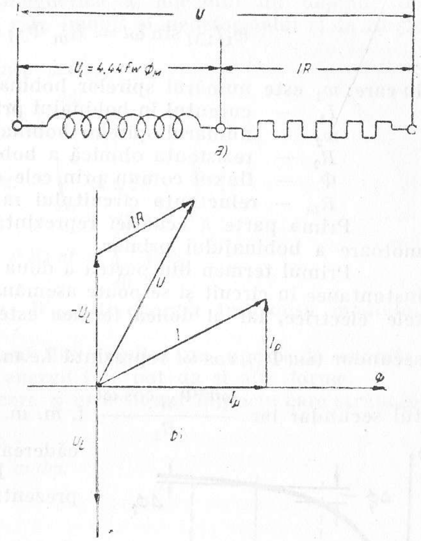


Fig. 82. — Diagrama tensiunilor şi curenţilor bobinei unui electromagnet.

71. Calculul în cazul cînd se consideră pierderile în miezul de oţel şi căderea de tensiune în bobină. În asemenea caz curentul în bobină I şi tensiunea U_L rezultă din diagrama din fig. 82 în care:

I_μ — este curentul magnetizant;

I_p — curentul corespunzător pierderilor prin curenţii turbionari şi prin histerezis: $I_p = \dfrac{p}{U}$;

U — tensiunea aplicată bobinei;

IR — căderea de tensiune ohmică.

Pierderile de putere p trebuie calculate pe porţiuni ale conductorului magnetic corespunzător inducţiilor respective.

Stabilirea valorilor lui U_L, Φ, I_μ şi I_p se face prin tatonări: Se porneşte de la $U_L = U$, se determină Φ, I_μ, I_p şi I, se trasează diagrama tensiunilor şi se obţine o valoare U_L diferită, în general de aceea de la care s-a plecat. Se determină din nou Φ, I_μ, I_p şi I şi aşa mai departe pînă ce se ajunge la o concordanţă satisfăcătoare între valoarea lui U_L obţinută şi cea presupusă.

După cum se constată un calcul exact este extrem de laborios.

72. Calculul circuitelor electromagneţilor cu bobine în scurtcircuit. Se folosesc uneori electromagneţi avînd şi un bobinaj în scurtcircuit.

În acest caz calculul circuitului magnetic se face ca şi la transformatoare,

avînd însă în vedere că fluxurile de scăpări sînt cu mult mai mari, deoarece în general cele două bobinaje nu sînt coaxiale.

Se poate folosi pentru calcul și metoda cantităților complexe, aplicată analog ca și circuitelor electrice după cum reiese din relația:

$$w_1 I_{1M} \sin \omega t = R_m \Phi_M \sin \omega t + \frac{\omega w_2^2}{R_2} \Phi_M \cos \omega t,$$

în care: w_1 este numărul spirelor bobinajului principal (primar);
I_1 — curentul în bobinajul principal;
w_2 — numărul spirelor bobinajului în scurtcircuit;
R_2 — rezistența ohmică a bobinajului scurtcircuitat;
Φ — fluxul comun prin cele două bobinaje;
R_m — reluctanța circuitului magnetic.

Prima parte a ecuației reprezintă valoarea instantanee a forței magnetomotoare a bobinajului primar.

Primul termen din partea a doua reprezintă căderea de tensiune magnetică instantanee în circuit și se poate asemăna cu căderea de tensiune ohmică în circuitele electrice, iar al doilea termen este f. m. m. demagnetizantă a bobinajului secundar ($\omega w \Phi_M \cos \omega t$ reprezintă f.e.m. indusă, $\frac{\omega w \Phi_M \cos \omega t}{R_2}$ curentul în circuitul secundar iar $\frac{\omega w^2 \Phi_M \cos \omega t}{R_2}$ f. m. m. demagnetizantă și se poate asemăna cu căderea de tensiune inductivă).

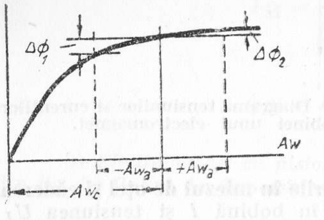


Fig. 83. — Curba de magnetizare în cazul alimentării în curent alternativ și în curent continuu: A_{wa} amplitudinea amperspirelor de curent alternativ; A_{wc} amperspirele bobinajului de curent continuu.

În consecință relația de mai sus poate fi prezentată sub forma:

$$w_1 I_1 = \Phi (R_m + jX_m) = \Phi Z_m .$$

73. **Circuite magnetice cu bobină de curent alternativ și bobină de curent continuu.** Amperspirele rezultante vor fi egale în mod alternativ cu suma amperspirelor curentului continuu și curentului alternativ (cînd f. m. m. sînt în același sens) și cu diferența lor (cînd f. m. m. sînt de sens contrar).

Fig. 83 reprezintă fenomenul. Se constată că:

$$\Delta\Phi_1 > \Delta\Phi_2$$

Numai dacă fenomenul se produce înaintea cotului curbei de magnetizare sau pe partea saturată a curbei:

$$\Delta\Phi_1 = \Delta\Phi_2 .$$

Dacă bobinajului de curent alternativ i se aplică o tensiune a cărei amplitudine este constantă, valorile amplitudinii curentului în cele două semiperioade nu mai pot fi egale din cauza inegalității variației fluxului.

Dacă bobinajul de curent alternativ este străbătut de un curent a cărui amplitudine este constantă, valorile amplitudinii tensiunii în cele două semiperioade nu mai pot fi constante.

În consecință curba curentului sau a tensiunii va fi deformată.

Curba curentului continuu va fi și ea deformată.

e) Calculul forței de atracție a electromagneților

74. **Energia cîmpului magnetic.** Se consideră o bobină de rezistență R cu w spire, supusă unei tensiuni a cărei valoare instantanee este u. În circuit se stabilește curentul i care produce un flux magnetic.

Se consideră că permeabilitatea magnetică a miezului nu depinde de intensitatea cîmpului, că circuitul electric este imobil și nedeformabil și în sfîrșit că stabilirea curentului se face lent.

Pentru perioada tranzitorie se poate scrie:

$$u = iR - e = iR + \frac{d\psi}{dt};$$

$$\int_0^t ui\,dt = \int_0^t i^2 R\,dt + \int_0^\psi i\,d\psi;$$

$$W_m = \int_0^t (ui - i^2 R)\,dt = \int_0^\psi i\,d\psi;$$

(a se vedea vol. I pag. 271 § 99) în care: W_m este energia transmisă mediului magnetic înconjurător.

Din acestea rezultă că stabilirea unui flux implică un aport de energie, energia de magnetizare. Expresiei acestei energii i se pot da și alte forme.

Astfel înlocuind pe ψ prin $w\varphi$, în care φ este fluxul mijlociu care străbate spirele bobinei se obține:

$$W_m = \int_0^\Phi wi\,d\varphi.$$

Dar:

$$wi = f_m .$$

Deci:

$$W_m = \int_0^\Phi f_m\,d\varphi,$$

în care f_m este forța magnetomotoare instantanee.

Dacă variația lui φ este liniară în raport cu i iar R_m și Λ sînt constante, integrala va fi:

$$W_m = R_m \int_0^\Phi \varphi\,d\varphi = \frac{1}{\Lambda} \int_0^\Phi \varphi\,d\varphi,$$

în care: R_m este reluctanța circuitului magnetic;
Λ — permeanța circuitului magnetic.

De unde rezultă următoarele expresii pentru energia transmisă mediului magnetic înconjurător pentru a stabili fluxul Φ într-un circuit magnetic de permeabilitate constantă [1]):

$$W_m = \frac{R_m \Phi^2}{2} = \frac{\Phi^2}{2\Lambda} = \frac{F_m \Phi}{2} = \frac{wI\Phi}{2} = \frac{F_m^2 \Lambda}{2} = \frac{LI^2}{2}.$$

[1]) Este de remarcat, cu excepția factorului 1/2, analogia dintre $\frac{R_m \Phi^2}{2}$ și expresia legii lui Joule-Lenz: RI^2, adică între energia necesară pentru a stabili un flux într-un circuit magnetic de permeabilitate constantă și puterea necesară stabilirii unui curent într-un circuit electric (a se vedea vol. I, pag. 260 § 77).

Dacă μ nu este constant energia se determină trasînd curba variației fluxului (sau a lui B) în funcție de curent (sau de H), adică curba de magnetizare (fig. 84) în care suprafața hașurată reprezintă integrala:

$$W_m = \int_0^{\Phi} wid\varphi.$$

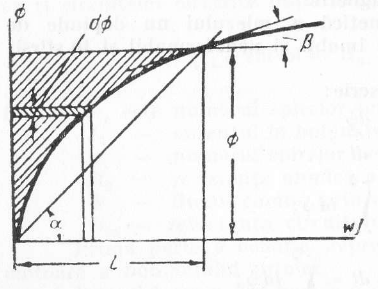


Fig. 84. – Energia cîmpului magnetic.

Aplicînd integrala unui tor de oțel uniform înfășurat:

$$W_m = \int_0^{\Phi} wid\varphi = \int_0^{B} wiSdB.$$

Dar $wi = Hl$ iar lS = volumul torului adică volumul spațiului în care se exercită cîmpul magnetic.

Rezultă:

$$W_m = V\int_0^{B} HdB.$$

75. Lucrul mecanic în cîmpul magnetic. Relațiile mai înainte stabilite pentru energia cîmpului magnetic sînt valabile în următoarele ipoteze:

– permeabilitatea magnetică a mediului nu depinde de intensitatea cîmpului;

– curentul se stabilește lent;

– circuitele sînt imobile și nedeformabile;

In general însă energia transmisă cîmpului magnetic cuprinde:

– o parte care se înmagazinează în cîmp și

– o parte care se transformă în lucru mecanic prin deformarea mecanică a circuitului sau variația permeabilității.

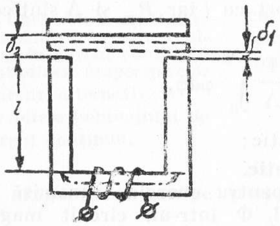


Fig. 85. – Electromagnet cu armătură mobilă.

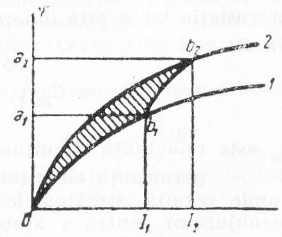


Fig. 86. – Curbele flux-curent ale unui sistem magnetic.

Se consideră cazul unui electromagnet, alimentat în curent continuu, și a cărui armătură se poate deplasa cum se arată în fig. 85.

Generalizînd și admițînd odată cu deplasarea armăturii o variație de curent de la I_1 la I_2, situația va fi cea arătată în fig. 86 în cazul variației întrefierului de la δ_1 la δ_2.

Referindu-ne la relația $W_m = \int_0^{\psi} id\psi$ se constată că la stabilirea curentului cîmpul magnetic înmagazinează energia:

$$W_1 = \int_0^{\psi_1} id\psi = \text{suprafața } Ob_1a_1O,$$

delimitată de curba *1*. În timpul mișcării armăturii, se adaugă:

$$W_2 = \int_{\psi_1}^{\psi_2} id\psi = \text{suprafața } a_1b_1b_2a_2.$$

La finele mișcării, energia sistemului este:

$$W_3 = \int_0^{\psi_2} id\psi = \text{suprafața } Ob_2a_2O \text{ (curba } 2).$$

Suma algebrică:

$$A = W_1 + W_2 - W_3 = \text{suprafața } Ob_1b_2O,$$

reprezintă tocmai lucrul mecanic efectuat de armătură.

Cîteva cazuri particulare. Presupunînd oțelul puțin saturat, caracteristicile $\psi = f(i)$ sînt linii drepte. Pe baza celor anterior stabilite, se deduce imediat că:

— Pentru alimentarea bobinei în curent continuu (fig. 87):

a) În cazul cînd curentul nu variază:

$$A = \frac{1}{2}I(\psi_2 - \psi_1);$$

lucrul mecanic este egal cu creșterea energiei magnetice și deci energia absorbită din rețea este dublă.

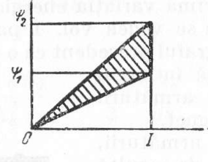


Fig. 87. – Sistem magnetic cu curent constant.

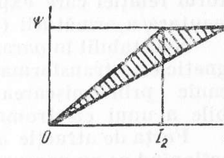


Fig. 88. – Sistem magnetic cu flux constant.

Dar:

$$A = \frac{w^2I^2(\Lambda_2 - \Lambda_1)}{2},$$

adică lucrul mecanic este proporțional cu variația permeanței magnetice.

b) În cazul cînd fluxul rămîne constant (fig. 88):

$$A = \frac{1}{2}(I_1 - I_2)\psi;$$

lucrul mecanic este egal cu micșorarea energiei magnetice și deci din rețea nu se absoarbe energie.

Dar:

$$A = \frac{1}{2}\psi^2(R_{m1} - R_{m2}),$$

adică lucrul mecanic este proporțional cu variația reluctanței circuitului magnetic.

c) În cazul cînd variază fluxul și curentul, dar variația fluxului este liniară (fig. 89):

$$A = \frac{1}{2}(I_1 \psi_2 - I_2 \psi_1).$$

Aplicînd această relație în cazul unui electro-electromagnet în U:

$$\psi_1 = \frac{wI_1 \mu_0 S}{2\delta_1}; \quad \psi_2 = \frac{wI_2 \mu_0 S}{2\delta_2}; \quad A = \frac{\mu_0 S w^2 I_1 I_2}{4}\left[\frac{1}{\delta_2} - \frac{1}{\delta_1}\right].$$

— Pentru alimentarea bobinei în curent alternativ:

Ținînd seama că:

$$IR = U \cos \varphi$$

și

$$L\omega I = \omega \psi = U \sin \varphi,$$

rezultă că:

$$I = \frac{U \cos \varphi}{R} \quad \text{și} \quad \psi = \frac{U \sin \varphi}{\omega}.$$

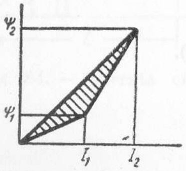


Fig. 89. — Sistem magnetic cu variație liniară a fluxului.

Ca urmare se stabilește că:

$$A = \frac{U^2}{2R\omega}(\varphi_2 - \varphi_1),$$

adică lucrul efectuat de armătură este proporțional cu variația defazajului dintre tensiune și curent.

76. Forțele în cîmpul magnetic. Determinarea forțelor se poate face cu ajutorul relației care exprimă variația energiei cîmpului magnetic la o deplasare elementară a armăturii (a se vedea vol. I pag. 276, § 110).

S-a stabilit în paragraful precedent că o anumită energie potențială a cîmpului magnetic este transformată în lucrul mecanic prin mișcarea armăturii mobile a unui electromagnet.

Forța de atracție a armăturii, F, acționînd pe un parcurs ds, rezultă din relația:

$$A = \int F ds;$$

$$F = \frac{dA}{ds}.$$

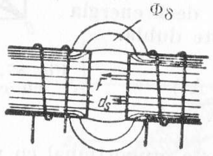


Fig. 90.— Sistem magnetic cu două suprafețe care se pot apropia.

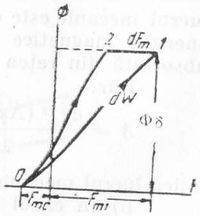


Fig. 91. — Curba flux-f.m.m. corespunzătoare sistemului din fig. 90.

Pentru determinarea lui dA se consideră un sistem magnetic de permeabilitate mai mare decît aerul și care are două suprafețe care se pot apropia (fig. 90).

Se presupune că fluxul Φ_δ care trece între suprafețe, taie toate spirele înfășurării de excitație și că, în timpul mișcării singura modificare în circuitul magnetic este aceea a întrefierului.

Prin creșterea f.m.m de la valoarea F_{mc} (f.m.m. necesară pentru a anula fluxul rezidual) pînă la valoarea F_{m1} se produce o creștere a fluxului dela 0 la Φ_δ, după curba *1* (fig. 91). În acest timp circuitul electric cedează energie, care

este în parte înmagazinată în cîmp ca energie magnetică iar în parte se pierde în căldură, datorită fenomenului de histerezis.

Presupunînd cazul fluxului constant, la o modificare a întrefierului cu ds, procesul se desfășoară după linia *1—2*. În timpul acestei mișcări se efectuează un lucru mecanic pe socoteala energiei înmagazinate în întrefier și f.m.m. a întrefierului scade cu dF_m.

Punctul *2* al desfășurării procesului poate fi obținut variind distanta între suprafețele polare cu ds și apoi mărind f.m.m. pînă la obținerea fluxului Φ_δ proces care s-ar fi desfășurat după curba *2*, cu absorbirea unei cantități de energie, dar bineînțeles fără obținerea vreunui lucru mecanic.

Suprafața *0—1—2—0* care reprezintă diferența energiilor absorbite din circuitul electric, în timpul parcursului *0—1—2* și *0—2* trebuie să fie egală cu lucrul mecanic dA efectuat în timpul mișcării dela *1—2*.

Variația f.m.m. este datorită variației permeanței întrefierului:

$$dA = -\frac{1}{2}\Phi_\delta \, dF_{m\delta}.$$

Dar:

$$\Phi_\delta = F_{m\delta}\Lambda_\delta \quad \text{și} \quad \Phi_\delta = \text{constant};$$

$$F = \frac{dA}{ds} = \frac{1}{2}\Phi_\delta \frac{dF_{m\delta}}{ds}.$$

Dar:

$$\frac{dF_{m\delta}}{ds} = -\frac{\Phi_\delta}{\Lambda_\delta^2}\frac{d\Lambda_\delta}{ds}.$$

În fine:

$$F = \frac{\Phi_\delta^2 \, d\Lambda_\delta}{2\Lambda_\delta^2 \, ds} = \frac{F_{m\delta}^2}{2}\frac{d\Lambda_\delta}{ds}.$$

În această relație:

$F_{m\delta}$ este f.m.m. a întrefierului;

$\frac{d\Lambda_\delta}{ds}$ — variația permeanței totale a întrefierului.

Sînt cuprinse în această expresie toate căile de flux care înlănțuie toate spirele înfășurării excitației.

Forța este în direcția deplasării ds.

Dacă sistemul poate efectua o rotație în loc de o translație, cuplul va fi dat de:

$$M = \frac{F_{m\delta}^2}{2}\frac{d\Lambda_\delta}{d\theta},$$

în care: $\frac{d\Lambda_\delta}{d\theta}$ este variația unghiulară a permeanței totale a întrefierului.

Forța F poate fi dedusă și în funcție de f.m.m. și de permeanța întregului circuit Λ_m.

Această metodă este mai greu de aplicat, deoarece calculul lui $\frac{d\Lambda_m}{ds}$ este mai laborios şi mai nesigur decît al lui $\frac{d\Lambda_\delta}{ds}$.

Aceleaşi relaţii se obţin şi în cazul cînd fluxul este variabil iar forţa magnetomotoare constantă.

Energia întrefierului.

Din cele arătate mai înainte rezultă că lucrul mecanic depinde de variaţia energiei cîmpului magnetic şi întrucît această variaţie are loc în special în întrefier este posibilă limitarea calculului, pentru determinarea forţelor mecanice de atracţie, numai la energia întrefierului.

Aplicarea formulelor date întîmpină mari dificultăţi dacă se ţine seamă de saturaţia fierului şi de dispersiunea fluxului adică de fluxul produs de bobină, dar care nu trece prin armătură şi deci nu este un flux util.

În ceea ce priveşte fluxul de dispersiune, el poate fi, la electromagneţii cu circuit deschis, 100% şi, chiar mai mare decît fluxul util, contribuind astfel la ridicarea saturaţiei materialului magnetic.

Determinarea fluxului de dispersiune prezintă mari dificultăţi. El poate fi apreciat în calcule pe baza uneia din următoarele ipoteze simplificatoare:

— Raportul între fluxul total şi cel util este constant. În acest caz, apare un factor de dispersiune independent de curent şi de poziţia armăturii.

— Fluxul de dispersiune depinde de curent, dar este independent de poziţia armăturii.

77. **Formula forţei în funcţie de inductanţă.** Formula generală a forţei magnetice, arătată mai înainte, a fost stabilită pe baza ipotezelor că întregul flux străbate toate spirele înfăşurării excitaţiei, deci nu sînt fluxuri de dispersiune şi că reluctanţa miezului este neglijabilă.

Tratarea problemei în acest mod a fost posibilă pentru că s-a presupus că fluxul rămîne constant în timpul deplasării infinitesimale. Dacă se consideră un sistem magnetic în care fluxul este proporţional cu curentul, se poate obţine o formulă a forţei în funcţie de variaţia inductanţei, care să ţină seama de toate fluxurile de dispersiune.

Energia acumulată în cîmp se poate exprima prin:

$$W_m = \frac{i^2}{2}(L_\delta + L_s),$$

în care L_δ este inductanţa corespunzătoare fluxului din întrefier iar L_s este inductanţa corespunzătoare fluxurilor de dispersiune.

Forţa F rezultă din:

$$F = \frac{dW_m}{d\delta} = \frac{i^2}{2}\left(\frac{dL_\delta}{d\delta} + \frac{dL_s}{d\delta}\right) + \frac{1}{2}(L_\delta + L_s)\frac{d(i^2)}{d\delta}.$$

În cazul alimentării în curent continuu, i nu depinde de întrefier şi deci:

$$\frac{d(i^2)}{d\delta} = 2i\frac{di}{d\delta} = 0,$$

iar:

$$F = \frac{1}{2}i^2\left(\frac{dL_\delta}{d\delta} + \frac{dL_s}{d\delta}\right)$$

În unele cazuri, fluxul de dispersiune nu depinde de întrefier:

$$\frac{dL_s}{d\delta}$$

şi deci:

$$F = \frac{i^2}{2}\frac{dL_\delta}{d\delta}.$$

În cazul alimentării în curent alternativ, inductanţa şi curentul depinde de mărimea întrefierului; deci va trebui să fie folosită formula completă.

Spre a ţine seama de saturaţia circuitului magnetic se poate pleca de la relaţia:

$$W_m = \frac{wi\varphi}{2}$$

şi deci în curent continuu:

$$F = \frac{dW_m}{d\delta} = \frac{wi}{2}\frac{d\varphi}{d\delta}.$$

Construind curba $\varphi = f(\delta)$, tangenta dă valoarea lui $\frac{d\varphi}{d\delta}$.

În cazul curentului alternativ:

$$F = \frac{dW_m}{d\delta} = \frac{w}{2}\left(\frac{\varphi di}{d\delta} + \frac{id\varphi}{d\delta}\right).$$

Deci vor trebui să fie construite curbele: $i = f(\delta)$ şi $\varphi = f(\delta)$.

f) Aplicarea formulelor pentru calculul forţelor magnetice

78. **Observaţii introductive.** În unele cazuri se pot stabili relaţii analitice simple, care să exprime variaţia permeanţei cu mişcarea, făcînd astfel posibilă aplicarea practică a formulei:

$$F = \frac{F_{m\delta}^2}{2}\frac{d\Lambda_\delta}{ds}.$$

Cînd acest lucru nu este posibil, trebuie aleasă metoda grafică.

α) *Cazuri generale.* Suprafeţe plane paralele (forţa de atracţie este datorită fluxului străbătînd normal pe suprafaţă; se neglijează fluxul marginal).

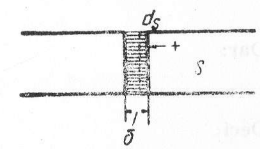


Fig. 92. — Forţa între suprafeţele plane paralele.

Fig. 92 prezintă acest caz, sub forma a două pistoane libere să se mişte unul către altul, în direcţia normală pe suprafaţa lor:

$$\Lambda_\delta = \frac{\mu_0 S}{\delta};\ \frac{d\Lambda_\delta}{ds} = -\frac{\mu_0 S}{\delta^2}\frac{d\delta}{ds}.$$

Înlocuind în relaţia de mai sus obţinem:

$$F = \frac{F_{m\delta}^2}{2}\frac{d\Lambda_\delta}{ds} = \frac{F_{m\delta}^2}{2}\frac{\mu_0 S}{\delta^2},$$

ţinînd seamă că $d\delta = -ds$ (creşterea lui $d\delta$ conduce la o absorbţie de lucru mecanic). Dar în întrefier:

$$B_\delta = \mu_0 H = \mu_0 \frac{F_{m\delta}}{\delta}.$$

Deci:

$$F = \frac{B_\delta^2 S}{2\mu_0},$$

în care:

B_δ este inducţia;
S — secţiunea întrefierului;
μ_0 — permeabilitatea întrefierului.

Relaţia aceasta se aplică electromagneţilor care au o suprafaţă activă (de exemplu electromagnet clapetă) sau două suprafeţe active (electromagnet în U). În acest din urmă caz:

$$F = \frac{B_\delta^2 S}{\mu_0}.$$

Aplicînd în cazul unui electromagnet în U relaţia:

$$F = \frac{I^2}{2}\frac{dL_\delta}{d\delta},$$

în care:

$$L_\delta = w^2 \Lambda_\delta = \frac{\mu_0 w^2 S}{2\delta},$$

iar:

$$\frac{dL_\delta}{d\delta} = -\frac{\mu_0 w^2 S}{2\delta^2},$$

se ajunge la:

$$F = -\frac{\mu_0 (wI)^2 S}{4\delta^2}.$$

Dar:

$$B_\delta = \mu_0 \frac{wI}{2\delta}.$$

Deci:

$$F = \frac{B_\delta^2 S}{\mu_0}$$

adică se ajunge la aceeaşi formulă ca mai înainte.

Expresia forţei în cazul cînd B_δ este în gauşi, iar S în cm² are formele cunoscute, pentru un electromagnet cu un singur întrefier:

$$F = \frac{1}{8\pi}\frac{(B_\delta S)^2}{S}\ [\text{dyn}];$$

$$F \approx \left(\frac{B_\delta}{5000}\right)^2 S\ [\text{kgf}].$$

S u p r a f e ţ e l e c i l i n d r i c e c o a x i a l e. (Forţa axială este datorită fluxului radial între cilindri, fluxul marginal este neglijat). Fig. 93 prezintă acest caz, care constă dintr-un piston înconjurat de o suprafaţă cilindrică (pistonul putîndu-se deplasa liber). Permeanţa întrefierului este:

$$\Lambda_\delta = \frac{2\pi\mu_0\left(r + \frac{\delta}{2}\right) l}{\delta},$$

(aplicabilă cînd δ este mic faţă de r).

Diferenţiind în raport cu s şi ţinînd seama că $dl = ds$:

$$\frac{d\Lambda_\delta}{ds} = \frac{2\pi\mu_0\left(r + \frac{\delta}{2}\right) l}{\delta}\frac{dl}{ds}$$

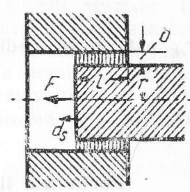


Fig. 93. — Forţa între suprafeţele cilindrice coaxiale.

şi substituind în formula forţei:

$$F = \frac{F_\delta^2}{2}\frac{d\Lambda_\delta}{ds} = \frac{\pi\mu_0\left(r + \frac{\delta}{2}\right) F_\delta^2}{\delta}.$$

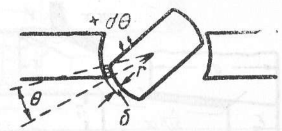


Fig. 94. — Cuplul între suprafeţe coaxiale cilindrice.

Formula poate fi exprimată în funcţie de inducţia în piston ţinînd seamă că:

$$F_{m\delta} = \frac{\Phi_\delta}{\Lambda_\delta} \text{ iar } \Phi_p = B_\delta \pi r^2,$$

unde B_p este inducţia în piston.

Cu ajutorul acestor relaţii se poate deduce lesne forţa în funcţie de B_p.

Formulele nu sînt aplicabile dacă pistonul nu a pătruns în cilindru şi nici dacă este spre capătul cursei, deoarece în ambele poziţii variaţia permeanţei întrefierului este diferită de aceea presupusă.

S u p r a f e ţ e l e c i l i n d r i c e c o a x i a l e (cuplul datorit fluxului radial între cilindri). Fig. 94 prezintă acest caz în care corpul interior se poate mişca liber şi în care:

$$\Lambda_\delta = \frac{\mu_0 l\left(r + \frac{\delta}{2}\right)\theta}{2\delta}$$

l fiind lungimea axială.

Diferenţiind în raport cu θ se obţine:

$$\frac{d\Lambda_\delta}{d\theta} = \frac{\mu_0 l\left(r + \frac{\delta}{2}\right)}{2\delta}.$$

Introducînd această expresie în ecuaţia cuplului, rezultă:

$$\text{Cuplul} = \frac{F_{m\delta}^2}{2}\frac{d\Lambda_\delta}{d\theta} = \frac{F_{m\delta}^2 \mu_0 l\left(r + \frac{\delta}{2}\right)}{4\delta},$$

în care $F_{m\delta}$ este f.m.m. a întrefierului.

S u p r a f e ț e t r o n c o n i c e c o a x i a l e (forța axială datorită fluxului radial între suprafețe). Fig. 95 arată acest caz:

$$\Lambda_\delta = \frac{\mu_0 S}{\delta} = \frac{2\pi\mu_0 r_m}{x\cos\alpha}\left(\frac{d}{\sin\alpha} - x\sin\alpha\right);$$

r_m este raza medie a porțiunii tronconice;

$$\frac{d\Lambda_\delta}{ds} = -\frac{2\pi\,\mu_0\, r_m\, d}{x^2\sin\alpha\cos\alpha}\,\frac{dx}{ds}.$$

Dar:

$$dx = -ds.$$

Forța va fi

$$F = \frac{F_{m\delta}^2}{2}\,\frac{d\Lambda_\delta}{ds} = \frac{\pi\mu_0\,{}_m d r F_{m\delta}^2}{x^2\sin\alpha\cos\alpha}$$

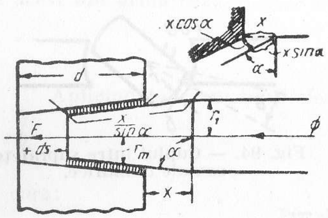


Fig. 95.— Forța între suprafețe tronconice coaxiale.

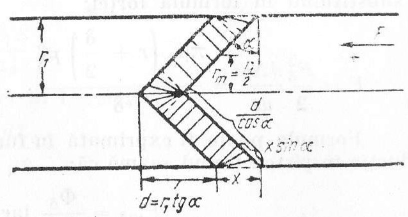


Fig. 96. — Forța între suprafețe conice coaxiale.

Forța poate fi exprimată și în funcție de inducția în piston, ținînd seama că:

$$\Phi = F_{m\delta}\,\Lambda_\delta = F_{m\delta}\,\frac{2\pi\,\mu_0\, r_m}{x\cos\alpha}\left(\frac{d}{\sin\alpha} - x\sin\alpha\right)$$

și că:

$$B_p = \frac{\Phi}{s} = \frac{\Phi}{\pi r_1^2} = \frac{2\,\mu_0\, r_m F_{m\delta}}{x\, r_1^2\cos\alpha}\left(\frac{d}{\sin\alpha} - x\sin\alpha\right).$$

Substituind în relația de mai sus se obține:

$$F = \frac{B_p^2\, r_1^4\, d\cos\alpha}{k r_m\, x^2\,\sin\alpha\left(\dfrac{d}{x\sin\alpha} - \sin\alpha\right)^2}$$

în care k este un factor numeric.

S u p r a f e ț e c o n i c e c o a x i a l e (fig. 96) (forța axială este datorită aici fluxului între suprafețe). Acesta este un caz special al cazului precedent și deci:

$$F = \frac{B_p^2\, r_1^4\, r_1\operatorname{tg}\alpha\cos\alpha}{k r_m\, x^2\,\sin\alpha\left(\dfrac{r_1\operatorname{tg}\alpha}{x\sin\alpha} - \sin\alpha\right)^2}$$

în care k este un factor numeric.

F o r ț a a s u p r a p i s t o n u l u i u n u i s o l e n o i d. Un asemenea tip de electromagnet este diferit de cei tratați pînă acum, deoarece forța nu este produsă de atracția care se exercită între suprafețele magnetizate, ci de reacția între cîmpul magnetic și un conductor străbătut de curent electric. La un asemenea dispozitiv inducția este limitată de saturație, dar curentul electric poate atinge valori foarte mari și de aceea se pot obține, în acest caz, forțe mari.

Fig. 97 arată o bobină străbătută de curent în care s-a presupus, pentru simplificare, că înfășurarea este formată dintr-un conductor masiv, în care intensitatea este uniform repartizată și anume cu densitate J pe unitatea de suprafață.

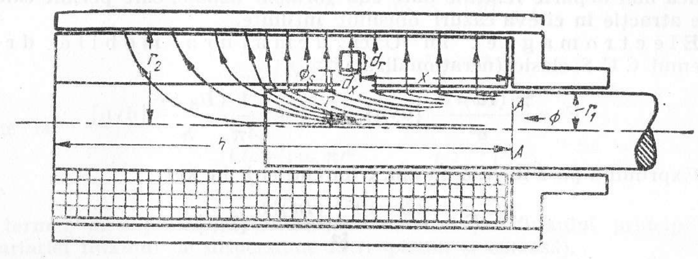


Fig. 97. — Forța asupra pistonului unui solenoid.

Forța axială exercitată asupra unui inel din înfășurare, avînd secțiunea transversală $dr \cdot dx$ este datorită acțiunii între curentul inelului și componenta radială a inducției, în centrul acestei secțiuni transversale. Forța este dată de formula generală:

$$F = I\,Bl\,;$$

$$I = J dx\, dr;\; B = \frac{d\Phi_r}{2\pi\, r dx},$$

în care: $d\Phi_r$ este componenta radială a fluxului de scăpări al pistonului în direcția axială dx, iar: $l = 2\pi r$ = lungimea inelului.

Forța asupra inelului este deci:

$$F = J\, dx\, dr\,\frac{d\Phi_r}{2\pi r\, dx}\,2\pi r = J dr\, d\Phi_r,$$

iar forța totală:

$$F = J\int_{r_1}^{r_2} dr\int_{x=0}^{x=h} d\,\Phi_r = J\,(r_2 - r_1)\int_{x=0}^{x=h} d\Phi_r,$$

unde $\int_{x=0}^{x=h} d\,\Phi_r$ este fluxul total de scăpări al pistonului.

Dar $J(r_2 - r_1)$ reprezintă amperi pe unitate de lungime a bobinei și este deci egal cu H.

În consecință:

$$F = H\Phi_s.$$

Forța se poate exprima și în funcție de fluxul pistonului:

$$F = H(\Phi - \mu_0 HS) = HS(B_p - \mu_0 H),$$

în care B_p este inducția maximă în piston, în secțiunea AA.

Acestei relații trebuie să i se aducă unele corecții[1]) care conduc la următoarea formulă finală a forței:

$$F = 0{,}85\, HB_p S.$$

β) *Formulele forțelor pentru electromagneții uzuali de curent continuu.* Se vor indica mai departe relațiile date sub formele uzuale, care permit calculul forțelor de atracție în cîteva cazuri obișnuit întîlnite.

Electromagnet în U cu armătura mobilă dreaptă. În sistemul C G S clasic (neraționalizat):

$$F = \frac{\pi (Iw)^2 S}{\delta^2} [\text{dyn}] \text{ sau } F = \frac{1}{4\pi} \frac{(B_\delta S)^2}{S} [\text{dyn}].$$

Exprimînd pe I în A, δ în cm, S în cm² și F în kgf:

$$F = \frac{3{,}2 \cdot 10^{-8}\, (Iw)^2 S}{\delta^2} [\text{kgf}],$$

sau:

$$F \approx \frac{8 \cdot 10^{-8}\, (B_\delta S)^2}{S} [\text{kgf}],$$

sau:

$$F \approx 2 \frac{(B_\delta S)^2}{5000} [\text{kgf}].$$

În sistemul MKS raționalizat:

$$F = \frac{\mu_0 (Iw)^2 S}{4\, \delta^2} [\text{N}],$$

sau:

$$F = \frac{(B_\delta S)^2}{\mu_0 S} [\text{N}],$$

sau:

$$F = \frac{B_\delta^2 S}{\mu_0} [\text{N}].$$

În cazul cînd asupra armăturii mobile acționează numai un pol (de exemplu în cazul electromagnetului cu clapetă) expresia forței în funcție de wI se înmulțește cu 2 iar expresia forței în funcție de B_δ se împarte cu 2.

Electromagnet cu armătură mobilă, în mișcare circulară:

$$M = \frac{\mu_0}{2} (Iw)^2\, b\, \frac{r + \frac{\delta}{2}}{2\,\delta} [\text{Nm}],$$

[1]) Pistonul intrînd în circuitul magnetic trebuie să fie magnetizat dela zero la Φ ceea ce implică o absorbție de energie și de reducere a forței; pe de altă parte intervine o creștere a forței datorită acțiunii dintre capătul pistonului și tampon.

în care: r este raza armăturii mobile;
δ — întrefierul;
b — lățimea armăturii.

Electromagnet cu piston, în carcasă. a) Piston cu capul plat. Forța se stabilește din relația:

$$F = \frac{I\, d\psi}{2\, d\delta}.$$

Ținînd seama că:

$$\delta = l - z - n \quad ; \quad d\delta = -dz$$

și că:

$$\psi = Iw^2 \left(\frac{\mu_0 \pi r^2}{\delta} + \Lambda_u \frac{z^3 + n^3}{3\, l^2} \right),$$

se ajunge la:

$$F = \frac{(Iw)^2}{2} \left[\frac{\mu_0 \pi r^2}{\delta} + \Lambda_u \left(\frac{z}{l} \right)^2 \right] [\text{N}],$$

(primul termen al expresiei forței corespunde variației fluxului principal iar al doilea variației fluxului de dispersiune între piston și carcasă).

Expresia de mai sus se poate pune și sub forma:

$$F = 0{,}5\, \Phi_\delta^2 \left[\frac{1}{\mu_0 \pi r^2} + \frac{\Lambda_u}{\Lambda_\delta} \left(\frac{z}{l} \right)^2 \right] [\text{N}],$$

căci:

$$\Lambda_\delta = \frac{\mu_0 \pi r^2}{\delta}.$$

b) Piston cu capul conic. În acest caz:

$$\Lambda_\delta \approx \frac{\mu_0 \pi r^2}{\delta \sin^2 \alpha},$$

iar:

$$F = -0{,}5\, \Phi_\delta \left[\frac{\sin^2 \alpha}{\mu_0 \pi r^2} + \frac{\Lambda_u}{\Lambda_\delta} \left(\frac{z}{l} \right)^2 \right] [\text{N}].$$

c) Solenoid. Forța de atracție este variabilă cu poziția pistonului în armătură:

$$F_{max} \approx 1{,}65 \cdot 10^{-3} \frac{\pi d^2}{4l} Iw [\text{kgf}],$$

în care: d este diametrul pistonului;
l — lungimea bobinei $\gg D_2$;
D_2 — diametrul exterior al bobinei;
D_1 — diametrul interior al bobinei.

În general armătura mobilă fiind saturată, se aplică formula empirică:

$$F \approx \frac{(Iw - S\tau)\left(2 - \dfrac{r}{1{,}07\, l}\right)}{981\, l} [\text{kg}],$$

în care:

$$r = \frac{D_1 + D_2}{4}; \qquad S = \frac{\pi d^2}{4}$$

iar valorile lui τ se iau din tabela 13.

Tabela 13. Valorile lui τ

l, cm	3	5	10	15	20	30
τ	500	355	230	180	140	96

79. Caracteristicile electromagneților de curent continuu, pentru tracțiune. *Caracteristicile statice.* Forța de atracție depinde de forma electromagnetului, de poziția relativă a armăturii față de miez și de f.m.m. a bobinei.

Caracteristicile statice sînt funcțiunile:

$$F = f_1(\delta), \quad \text{sau:} \quad M = f_2(\alpha)$$

(pentru f.m.m. = const).

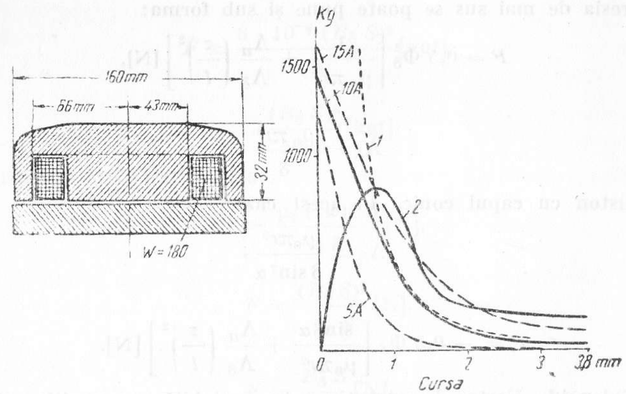


Fig. 98. – Caracteristicile unui electromagnet circular:
1 – curba teoretică $F.\delta$ = constant; *2* – curba lucrului mecanic util.

Ele sînt stabilite în cazul armăturii fixe, în diferite poziții.

Caracteristicile indicate în cele ce urmează, obținute experimental, servesc pentru alegerea celui mai potrivit tip de magnet din punct de vedere economic, adică de greutate minimă pe unitate de lucru mecanic util, pentru un anumit raport forță/cursă.

Aceste caracteristici se referă la electromagneții de tracțiune, alimentați în curent continuu, cu tensiune constantă și cu o anumită limită pentru ridicarea de temperatură.

α) *Tipul cu pol masiv și armătură plată* (fig. 98). Acest magnet este destinat a produce o forță mare (pînă la circa 10 t) cu o cursă scurtă. Este

construit de obicei cu dimensiuni mari (pînă la circa 1200 mm) și este folosit la ridicarea deșeurilor, a tablelor și a lingourilor de oțel cum și pentru ambreiaje magnetice. Are un circuit magnetic redus cu două întrefieruri și o secțiune transversală mare.

Teoretic, forța variază invers proporțional cu lungimea întrefierului; practic însă, această variație este ușor diferită, datorită scăpărilor de flux și saturației.

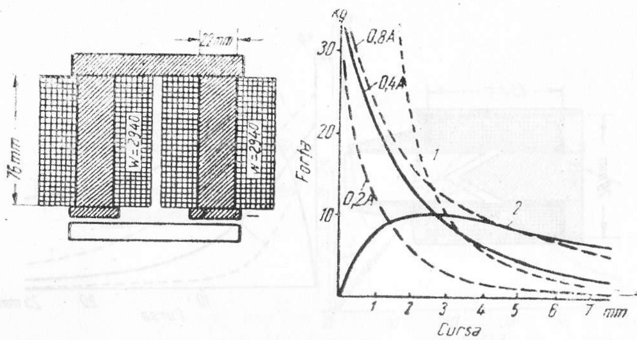


Fig. 99. – Caracteristicile unui electromagnet în U:
1 – curba teoretică $F.\delta$ = constant; *2* – curba lucrului mecanic util.

β) *Tipul* U (fig. 99). Este foarte folosit din cauza ușurinții cu care poate fi executat. Nu se construiește de dimensiuni atît de mari ca cel menționat mai înainte.

Prin folosirea pieselor polare de diferite mărimi se poate varia densitatea fluxului și în consecință electromagnetul se poate adapta la diferite scopuri.

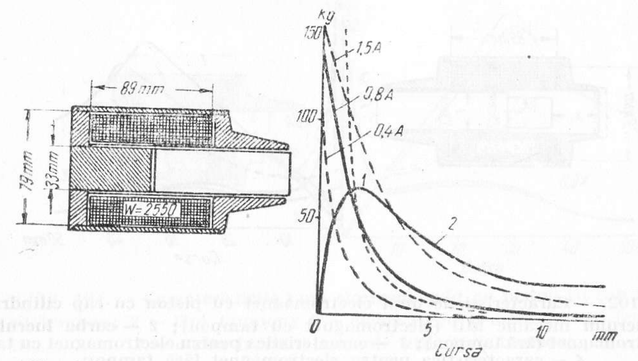


Fig. 100. – Caracteristicile unui electromagnet cu piston plat:
1 – curba teoretică $F.\delta$ = constant; *2* – curba lucrului mecanic util.

γ) *Tipul cu piston cu capul plat* (fig. 100). Acest electromagnet este folosit în general pentru a obține o forță relativ mică pe o cursă mai lungă decît în cazul electromagnetului circular de la punctul α. Circuitul magnetic este în general scurt și prezintă numai un singur întrefier util.

δ) *Tipul cu piston cu capul conic* (fig. 101). Acesta se aseamănă cu cel precedent, dar se deosebește de el prin folosirea sa mai economică pentru curse mai lungi, forțele fiind însă totodată mai reduse. Aceasta se datorește capului conic.

ε) *Tipul cu piston cu capul cilindric* (fig. 102). Acest tip este potrivit pentru curse mai lungi și forțe mai mici decît magnetul cu piston cu cap conic, sau pentru cazurile în care se cere la început o forță mare și apoi o forță mult mai mică.

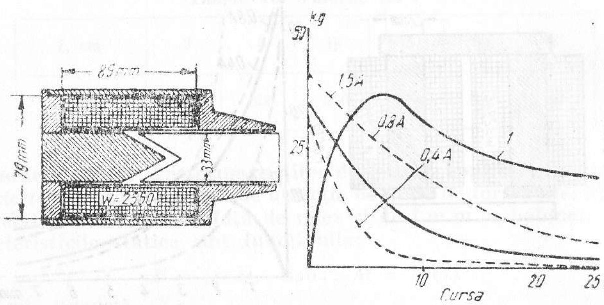


Fig. 101. — Caracteristicile unui electromagnet cu piston cu cap conic: *1* — curba lucrului mecanic util.

Dacă se adaugă un tampon, partea inițială a caracteristicilor nu se schimbă, dar către capătul cursei, variația permeanței crește repede, din cauza apropierii suprafețelor pistonului și a tamponului și acest fapt are ca urmare obținerea, spre finele cursei, a unei caracteristici asemănătoare tipului cu piston cu capul plat.

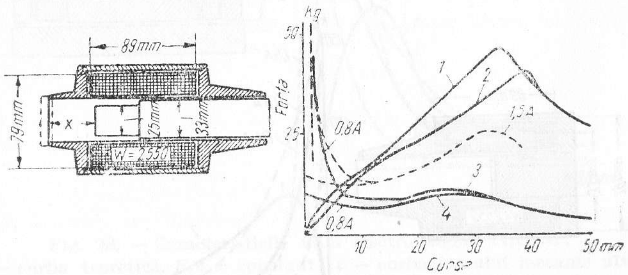


Fig. 102. — Caracteristicile unui electromagnet cu piston cu cap cilindric: *1* — curba lucrului mecanic util (electromagnet cu tampon); *2* — curba lucrului mecanic util (electromagnet fără tampon); *3* — caracteristica pentru electromagnet cu tampon; *4* — caracteristica pentru electromagnet fără tampon.

ζ) *Tipul cu piston cu capul cilindric în trepte* (fig. 103). Scăderea forței pe la mijlocul cursei, la magnetul precedent, datorită descreșterii f.m.m. în întrefier, cînd fierul se saturează, poate fi redusă la un minimum prin mărirea variației permeanței între piston și carcasă, pe măsura creșterii cursei. Acest lucru se poate realiza prin construcția pistonului cilindric în trepte.

η) *Tipul cu piston cu cap teșit* (fig. 104). Pe măsură ce se mărește numărul de trepte, forța poate fi menținută mai constantă de-a lungul cursei construind pistonul cu cap teșit. Se obține astfel efectul unui număr infinit de trepte.

ϑ) *Tipul tronconic.* Dacă carcasa magnetului cu piston teșit se face de formă conică, cu același unghi ca pistonul, se obține magnetul din fig. 105. Forma acestuia este foarte potrivită pentru magneții de cursă lungă și de putere mică; un

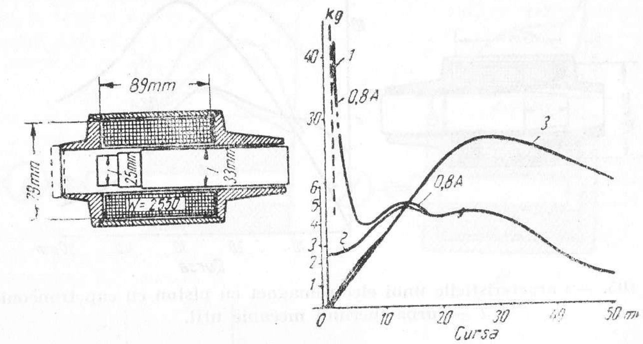


Fig. 103. — Caracteristicile unui electromagnet cu piston cu cap cilindric în trepte: *1* — cu tampon; *2* — fără tampon; *3* — curba lucrului mecanic util.

asemenea magnet folosește cel mai bine energia disponibilă, lucru ce se constată observînd că diagrama forță-cursă cuprinde o suprafață mai mare decît la tipurile de electromagneți descriși mai sus.

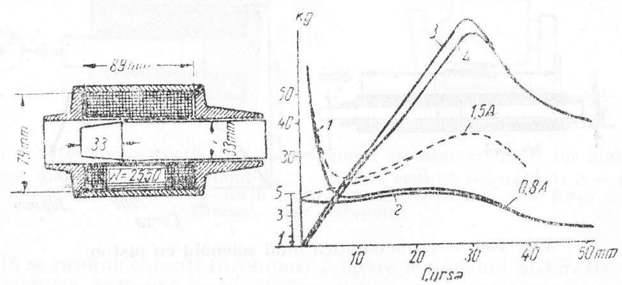


Fig. 104. — Caracteristicile unui electromagnet cu piston cu cap teșit: *1* — cu tampon; *2* — fără tampon; *3* — curba lucrului mecanic util (cu tampon); *4* — curba lucrului mecanic util (fără tampon).

Deasemenea forța poate fi aici practic constantă pe o mare parte a cursei.

ι) *Tipul solenoid cu piston* (fig. 106) *sau cu flux de dispersiune.* Magneții de tipul cu piston cilindric își datoresc o mare parte din forța lor fluxului radial între piston și carcasă. De aceea ori de cîte ori este necesar să se obțină o cursă

lungă și forță mică, se alege acest tip. În general, este economic ca acțiunea pe ultima parte a cursei să se obțină printr-un piston teșit. Pe o mare porțiune a cursei, forța este practic constantă. Carcasa de oțel poate fi îndepărtată și atunci rămîne un simplu solenoid cu piston, dar în acest caz la construcția de cursă

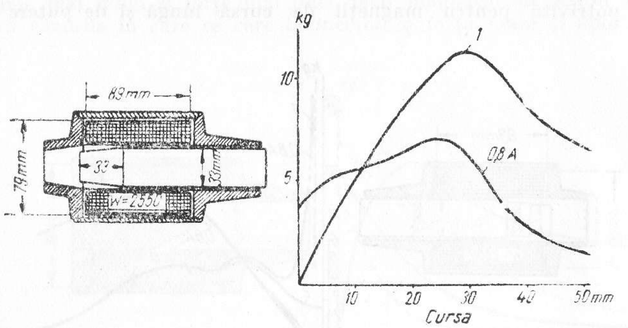


Fig. 105. — Caracteristicile unui electromagnet cu piston cu cap tronconic: *1* — curba lucrului mecanic util.

scurtă va rezulta o creștere în greutate și consum de putere, destul de importante.

x) Concluzii. După caracteristica forță-cursă, electromagneții se pot împărți în trei tipuri principale, avînd:

a) forța invers proporțională cu distanța activă între suprafețele întrefierului;
b) forța constantă, dar scăzînd la finele cursei (din cauza saturației);
c) forța constantă pe toată cursa.

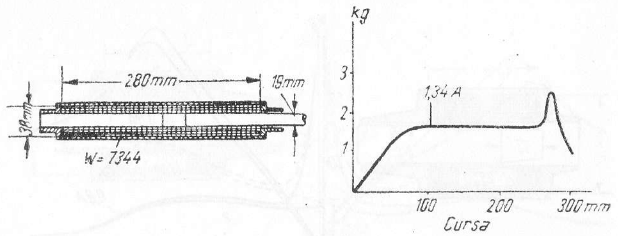


Fig. 106. — Caracteristica unui solenoid cu piston.

Electromagneții din fig. 98, 99, 101 sînt de tipul α, electromagneții din fig. 103 și 105 sînt de tipul β iar din fig. 106 de tipul δ. Ceilalți au caracteristici combinate.

Din cele de mai sus rezultă că, pentru a se obține un electromagnet eficient trebuie aleasă în mod potrivit suprafața întrefierului activ, corespunzător caracteristicii forță-cursă necesară.

În fig. 107 sînt arătate cîteva construcții obișnuite de electromagneți cu caracteristicile lor tipice.

Caracteristicile dinamice. Caracteristicile examinate sînt stabilite pentru valori fixe ale întrefierului.

În cazul mișcării armăturii inductanța bobinei L variază, iar $i\frac{dL}{dt}$ nu mai este zero, ci are o valoare finită și deci trebuie introdusă în ecuația tensiunii circuitului electric.

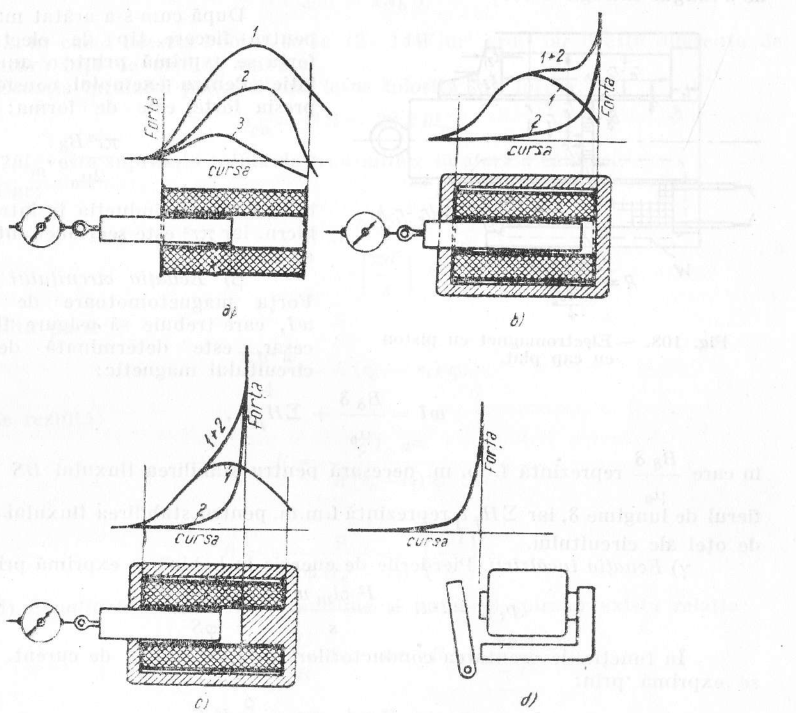


Fig. 107. — Cîteva construcții de electromagneți și caracteristicile lor statice. *a*: *1* — piston mai lung decît solenoidul; *2* — piston egal cu solenoidul; *3* — piston mai scurt decît solenoidul; *b* și *c*: *1* — forța între piston și solenoid; *2* — forța între piston și carcasă (sau tampon).

Totodată se produc curenți turbionari și apare fenomenul histerezis. Caracteristicile obținute în aceste condiții se numesc *dinamice*.

g) Proiectarea electromagneților

80. Indicații pentru proiectarea electromagneților de tracțiune (de curent continu). Datele obișnuite ale unui proiect de electromagnet sînt:

F, forța electromagnetică necesară;
δ, lungimea întrefierului de lucru sau cursa;
θ, creșterea de temperatură admisibilă față de mediul ambiant;
q, durata relativă în care magnetul este excitat;
U, tensiunea de alimentare.

Indicațiile care urmează se referă pentru exemplificare, la un electromagnet cu piston cilindric cu capul plat.

Relațiile utilizate la proiectare sînt următoarele:

α) *Ecuația forței.* Electromagnetul trebuie să exercite o forță minimă dată, de-a lungul întregii curse.

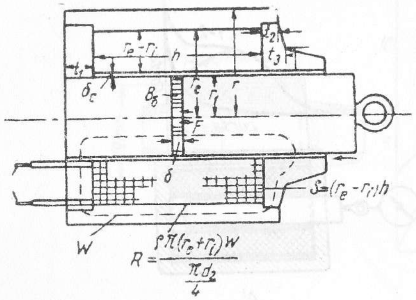


Fig. 108. – Electromagnet cu piston cu cap plat.

După cum s-a arătat mai înainte pentru fiecare tip de electromagnet forța se exprimă printr-o anumită relație. Pentru exemplul considerat expresia forței este de forma:

$$F = \frac{\pi r^2 B_\delta}{2\mu_0},$$

în care B este inducția în întrefierul de lucru, iar πr^2 este secțiunea întrefierului de lucru.

β) *Ecuația circuitului magnetic.* Forța magnetomotoare de excitație wI, care trebuie să asigure fluxul necesar, este determinată de ecuația circuitului magnetic:

$$wI = \frac{B_\delta\,\delta}{\mu_0} + \Sigma H_j l_j,$$

în care $\frac{B_\delta\,\delta}{\mu_0}$ reprezintă f. m. m. necesară pentru stabilirea fluxului BS în întrefierul de lungime δ, iar $\Sigma H_j l_j$ reprezintă f.m.m. pentru stabilirea fluxului în piesele de oțel ale circuitului.

γ) *Ecuația încălzirii.* Pierderile de energie în bobină se exprimă prin relația:

$$P_{Cu} = I^2 R = \frac{I^2 \rho l_m w}{s} = \frac{\rho l_m (wI)^2}{\varphi S}.$$

În funcție de greutatea conductorilor și de densitatea de curent, pierderile se exprimă prin:

$$P_{Cu} = J^2 \rho\, l_m\, sw = \frac{\rho}{\gamma} J^2 G,$$

căci:

$$G = \gamma s w\, l_m = \gamma \varphi S\, l_m.$$

În aceste relații:

l_m este lungimea spirei medie;

φ – factorul de umplere $= \frac{\pi d^2 w}{4h(r_e - r_i)} = \frac{sw}{S}$;

S – secțiunea locului unde este plasată înfășurarea;

J – densitatea de curent $= \frac{I}{s}$;

r_e – raza exterioară a bobinei;

r_i – raza interioară a bobinei;

h – înălțimea bobinei.

Pierderile în oțel datorite curenților turbionari (Foucault) și fenomenului de histerezis sînt cuprinse în cifra pierderilor materialului feros folosit.

Aceste pierderi se calculează cu formula dată la § 59.

Pierderea totală de putere transformată în căldură se transmite înafară prin suprafața exterioară a bobinei, după relația:

$$P_{total} = k S_b\, \theta,$$

în care k, în cazul acestor bobine se ia $12-14 W/m^2$ grd, iar θ este diferența de temperatură față de mediul ambiant.

Ecuația încălzirii poate fi mai lesne folosită sub forma:

$$p_{cu} = I^2 R = 2\theta\, k\, h l_m,$$

în care $2hl_m$ este suprafața totală de transmitere în afară a căldurii.

Dar:

$$R = \frac{\rho\, l_m w}{\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)}.$$

Pe de altă parte:

$$\frac{\pi d^2 w}{4} = h(r_e - r_i)\,\varphi.$$

De unde rezultă:

$$R = \frac{\rho\, l_m w^2}{h(r_e - r_i)\,\varphi}$$

sau încă:

$$\theta = \frac{\rho}{2k\varphi(r_e - r_i)}\left(\frac{wI}{h}\right)^2.$$

δ) *Ecuația tensiunii.* Între tensiune și numărul spirelor există relația:

$$wI = w\frac{U}{R} \quad \text{în, care: } R = \frac{w\rho\, l_m}{\frac{\pi d^2}{4}}.$$

Deci:

$$wI = \frac{\pi d^2 U}{4\rho\, l_m},$$

sau:

$$U = \frac{4\rho\, l_m wI}{\pi d^2} = \frac{4\rho\,(r_i + r_e)\, wI}{d^2},$$

în care $r_i + r_e$ este diametrul mediu al bobinei, iar d este diametrul conductorului bobinei.

Din ecuația tensiunii se deduce diametrul conductorului.

Pentru dimensionarea unui electromagnet se procedează astfel: Întrucît B_δ variază între limite relativ restrînse, el trebuie ales în așa fel încît oțelul jugului să funcționeze la un grad de saturație economic. Saturația în jug în raport cu a întrefierului, depinde de coeficientul de dispersiune. B_δ fiind ales, va rezulta imediat r_i. În ce privește termenul $\Sigma H_j l_j$, experiența arată că, atunci cînd materialele sînt

folosite economic, f. m. m. pentru oțel reprezintă numai o mică parte din aceea a întrefierului și anume 10–25 %. Dacă magnetul are un întrefier cilindric fix, mai trebuie prevăzut pentru el încă un spor de 5 – 10 %. Deci:

$$wI = (1{,}15 \cdots 1{,}35)\,\frac{B_\delta\,\delta}{\mu_0}.$$

În ecuația încălzirii întrucît ρ și k corespund temperaturii finale, iar φ nu variază mult cu dimensiunile conductorului, raportul $\frac{h}{r_e - r_i} = \frac{\text{înălțimea}}{\text{grosimea}}$ bobinei este, în general, același pentru magneții de același tip, bine dimensionați.

Rezultatele obținute din acest calcul sînt socotite ca preliminare. Ele vor fi modificate, adaptîndu-se dimensiuni uzuale pentru conductori, oțel etc.

Se execută apoi un desen al electromagnetului alegîndu-se în mod potrivit diferitele dimensiuni ale carcasei.

Secțiunile de trecere ale fluxului prin carcasă trebuie să fie cel puțin egale cu ale pistonului, la aceeași calitate a materialului. În cazul folosirii unui material de calitate magnetică inferioară secțiunile trebuie mărite pentru ca tensiunea magnetică în oțel să nu depășească 10–25 % din aceea a întrefierului.

Pe baza desenului se poate calcula coeficientul de scăpări. Se verifică apoi saturația.

În sfîrșit se controlează încălzirea etc.

81. Aplicarea indicațiilor de proiectare preliminară.

α) *Electromagnet cu pol masiv și armătură plată.* Se cere a se dimensiona un electromagnet cu următoarele caracteristici: Cursa $\delta = 0{,}65$ mm., forța $F = 180$ kgf, tensiunea de alimentare $U = 6$ V, excitația permanentă, încălzirea maximă $\vartheta = 70°C$ (fig. 109).

Ecuația forței are expresia cunoscută, arătată mai înainte. Este de observat însă că numărătorul trebuie înmulțit cu doi deoarece sînt două fețe active (miezul și mantaua exterioară). Deci:

$$F = \frac{\pi r_i^2\, B_\delta}{\mu_0}.$$

Valoarea lui B_δ se ia după criterii practice între 11 000 . . . 15 000 gauși. Luînd $B_\delta = 11\,000$ gauși $= 1{,}1$ Wb/m², se obține:

$$\pi r_i^2 = \frac{4\cdot\pi\cdot 10^{-7}\cdot 180\cdot 9{,}806}{1{,}1^2} \simeq 0{,}001832 \text{ m}^2;$$

$$r_i \simeq 0{,}025 \text{ m}.$$

Ecuația circuitului magnetic se aplică în forma:

$$wI = \frac{2B_\delta\,\delta}{\mu_0} + 8\,000\, r_i,$$

adică f.m.m. corespunzătoare circuitului în oțel a fost socotită egală cu 8 000 r_i. Deci:

$$wI = \frac{2\cdot 1{,}1\cdot 0{,}00065}{4\cdot\pi\cdot 10^{-7}} + 8\,000\cdot 0{,}025 \simeq 1345 \text{ A.sp.}$$

Ecuația încălzirii conduce la:

$$\vartheta = \frac{q\rho}{2K\varphi\,(r_e - r_i)}\left(\frac{wI}{h}\right)^2,$$

în care: $q = 1$; $K = 11$ W/m²; $\varphi = 0{,}50$; $\frac{h}{r_e - r_i} = 4$; $\rho = 0{,}0178\,(1 + \alpha t)\,10^{-6} =$

$$= 0{,}0178\,(1 + 0{,}004\cdot 70)\,10^{-6}\,\frac{\Omega\text{m}^2}{\text{m}} = 0{,}0228\cdot 10^{-6}\,\frac{\Omega\text{m}^2}{\text{m}}.$$

În consecință:

$$h = \sqrt[3]{\frac{4q\rho\,(wI)^2}{2K\varphi\vartheta}} = \sqrt[3]{\frac{4\cdot 0{,}0228\cdot 10^{-6}\cdot 1345^2}{2\cdot 11\cdot 0{,}50\cdot 70}} \cong 0{,}060 \text{ m};$$

$$r_e = 0{,}040 \text{ m}.$$

Ecuația tensiunii:

$$U = \frac{4\rho\,(r_e + r_i)\,wI}{d^2},$$

conduce la:

$$d = \sqrt{\frac{4\rho\,(r_e + r_i)\,wI}{U}} = \sqrt{\frac{4\cdot 0{,}0228\cdot 10^{-6}\,(0{,}04 + 0{,}025)\,1345}{6}} \cong 0{,}001 \text{ m}.$$

În felul arătat s-au calculat dimensiunile principale ale electromagnetului.

Celelalte dimensiuni se stabilesc astfel ca secțiunile de trecere ale fluxului, să fie pretutindeni menținute la o valoare egală cu cel puțin πr_i^2. Astfel pentru determinarea lui l_1 trebuie să se scrie:

$$2\pi r_i\, l_1 = \pi r_i^2.$$

De unde:

$$l_1 = \frac{r_i}{2}.$$

Pentru determinarea lui r (diametrul exterior al electromagnetului):

$$\pi\left(r^2 - r_e^2\right) = \pi r_i^2.$$

De unde:

$$r = \sqrt{r_e^2 + r_i^2}.$$

Pentru determinarea lui l_2:

$$2\pi r_e\, l_2 = \pi r_i^2.$$

De unde:

$$l_2 = \frac{r_i^2}{2r_e}.$$

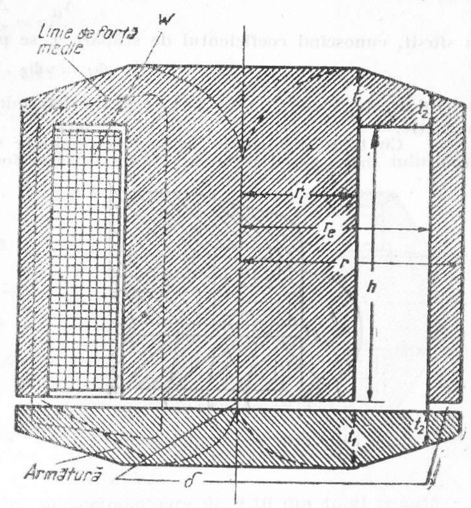


Fig. 109. – Dimensionarea electromagnetului cu pol masiv și armătură plată.

Alegînd pentru conductori și oțel dimensiunile comerciale cele mai potrivite, se verifică apoi elementele inițial admise și cele stabilite prin calcul: numărul spirelor w, factorul de umplere φ, rezistența ohmică a bobinei, curentul I (și deci numărul amperspirelor wI), încălzirea etc.

Presupunînd o concordanță satisfăcătoare, se desenează electromagnetul, se trasează linia medie magnetică și se stabilesc lungimile ei pe diferitele porțiuni ale circuitului magnetic, avînd aceeași secțiune de trecere a fluxului (fig. 109).

Pentru a se putea determina valoarea fluxului în aceste diferite secțiuni și deci saturația la care lucrează oțelul trebuie să se traseze căile diferitelor fluxuri de scăpări cum

şi cele marginale (fig. 110). Se calculează permeanţele acestora şi coeficientul total de scăpări.

Presupunîndu-le determinate se deduce că:

$$\Phi_a = \Phi_\delta \frac{\Lambda_a}{\Lambda_\delta},$$

în care: Φ_a este fluxul în armătură;

Φ_δ — fluxul util;

Λ_a — permeanţele totale între miez şi armătură (permeanţa armăturii însăşi fiind presupusă infinită);

Λ_δ — permeanţa întrefierului util $= \dfrac{\mu_0 \pi r_i^2}{\delta}$.

Fluxul miezului polar rezultă:

$$\Phi_p = \Phi_a + \frac{2}{3} \Phi_s,$$

în care φ_s este fluxul de scăpări între miez şi mantaua exterioară.

La rîndul său:

$$\Phi_s = F_{ma} \Lambda_s,$$

în care F_{ma} este forţa magnetomotoare între miez şi manta egală cu f.m.m. între extremităţile armăturii şi deci:

$$F_{ma} = \frac{\Phi_a}{\Lambda_a} = \frac{\Phi_\delta}{\Lambda_\delta}.$$

In sfîrşit, cunoscînd coeficientul de scăpări ν, se poate deduce fluxul în jug:

$$\Phi_j = \nu \Phi_\delta.$$

În felul acesta, în funcţie de $\Phi\delta$, se poate determina fluxul în fiecare porţiune a circuitului magnetic.

Cu toate elementele arătate determinate se poate trasa curba de magnetizare a circuitului magnetic determinat. Corespunzător forţei magnetomotoare (wI = 1345 A.sp.)

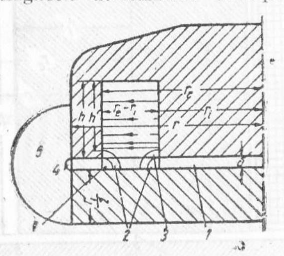


Fig. 110. — Fluxurile de scăpări.

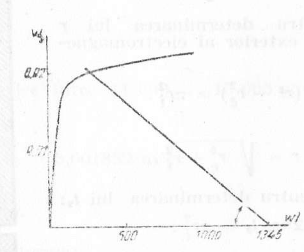


Fig. 111 — Determinarea punctului de funcţionare pe curba de magnetizare.

se găseşte punctul de funcţionare al electromagnetului pentru întrefierul dat (fig. 111).

Cu valoarea obţinută a fluxului se verifică valoarea forţei.

β) *Electromagnet cu piston cu capul plat.* Ecuaţia forţei este:

$$F = \frac{\pi r_i^2 B_\delta}{2\mu_0}.$$

Ecuaţia circuitului magnetic este:

$$wI = \frac{B_\delta \delta}{\mu_0} + 0{,}30\, wI,$$

de unde:

$$wI = \frac{B_\delta \delta}{0{,}70\, \mu_0}.$$

Este de observat că la un asemenea electromagnet circuitul magnetic cuprinde o parte în oţel, un întrefier activ δ şi un întrefier cilindric fix δ_1 pe o lungime axială t_s. Ecuaţia încălzirii şi a tensiunii se prezintă la fel ca în cazul precedent.

Calculul decurge la fel ca şi în exemplul tratat. Se vor arăta numai unele particularităţi (fig. 112).

Raza exterioară a carcasei rezultă din:

$$\pi r_i^2 = 0{,}8\pi \left(r^2 - r_e^2\right).$$

Factorul 0,8 este justificat prin folosirea pentru carcasă a unui material de calitate magnetică inferioară celei a pistonului.

Alte dimensiuni rezultă astfel:

$$t_1 = \frac{\pi \left(r^2 - r_e^2\right)}{2\pi r_i},$$

iar:

$$t_2 = \frac{\pi \left(r^2 - r_e^2\right)}{2\pi r_e}.$$

Fluxul în carcasă este:

$$\Phi_c = \nu B_\delta \pi r_i^2,$$

în care ν este coeficientul de scăpări.

Permeanţa întrefierului cilindric fix:

$$\Lambda_c = \frac{\mu_0 \pi (2r_i + \delta_c)\, t_s}{\delta_c}.$$

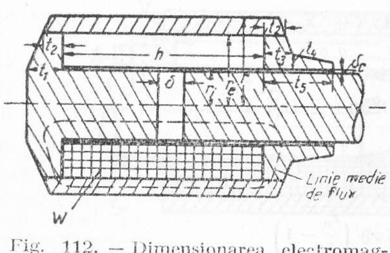


Fig. 112. — Dimensionarea electromagnetului cu piston, cu cap plat.

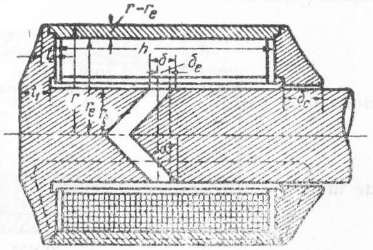


Fig. 113. — Dimensionarea unui electromagnet cu cap conic.

Admiţînd pentru acest întrefier o tensiune magnetomotoare de 0,10 din total rezultă:

$$\Phi_c = 0{,}1\, wI\Lambda_c.$$

γ) *Electromagnet cu piston cu cap conic* (fig. 113). După cele arătate mai înainte un asemenea electromagnet este echivalent cu unul cu piston cu cap plat, dar care dezvoltă o forţă de $1/\cos^2\alpha$ ori mai mare.

Deci dacă forţa cerută electromagnetului cu piston cu cap conic este F, electromagnetul cu cap plat echivalent are o forţă:

$$F_e = \frac{F}{\cos^2 \alpha}.$$

În consecinţă se pleacă dela această dată şi se face dimensionarea ca şi în cazul precedent; deci:

$$F_e = \frac{F}{\cos^2 \alpha} = \frac{r_i^2 B_\delta}{2\mu_0},$$

iar ecuaţia circuitului magnetic:

$$w\, I = \frac{B_\delta\, \delta}{\mu_0} + k\, w\, I.$$

Se ia întrefierul echivalent:

$$\delta_e = \delta \cos^2\alpha.$$

δ) *Solenoid cu piston.* Se cere să se dimensioneze un electromagnet cu următoarele caracteristici: Cursa 100 mm, forţa 1,4 kgf, tensiunea 120 V, încălzirea bobinajului 70°C peste temperatura ambiantă de 20°C.

Ecuaţia forţei:

$$F = K\, \Phi\, H = K\, B_p\, S\, H = \frac{0{,}85\ w\, I\, B_p\, \pi r_i^2}{h}.$$

(valoarea 0,85 pentru K corespunde unui material magnetic de bună calitate).

Rezultă:

$$\frac{wI}{h} = \frac{F}{0{,}85\, B_p\, \pi r_i^2}.$$

Ecuaţia încălzirii:

$$\vartheta = \frac{q\rho}{2\, K\varphi\, (r_e - r_i)} \left(\frac{w\, I}{h}\right)^2,$$

de unde rezultă:

$$\frac{w\, I}{h} = \sqrt{\frac{2\, K\varphi\,\vartheta\, (r_e - r_i)}{q\cdot\rho}}.$$

Egalînd cele două ecuaţii care dau valoarea lui $\frac{wI}{h}$ se obţine:

$$\frac{F}{0{,}85\ B_p\, \pi\ r_i^2} = \sqrt{\frac{2\varphi K\, \vartheta\, (r_e - r_i)}{q\ \rho}};$$

ridicînd la pătrat:

$$\frac{F^2}{0{,}85^2\ B_p^2\ \pi^2 r_i^4} = \frac{2\ K\varphi\vartheta\, (r_e - r_i)}{q\ \rho}$$

de unde:

$$r_i^5 = \frac{F^2\, q\, \rho}{0{,}85^2\ B_p^2\ \pi^2\cdot 2K\varphi\vartheta \left(\frac{r_e}{r_i} - 1\right)};$$

se ia: $\vartheta = 70\ ^\circ C$; $q = 1$; $\rho = 0{,}0228\cdot 10^{-6}\ \frac{\Omega m^2}{m}$; $K = 11\ W/m^2$;

$$\varphi = 0{,}45;\ \frac{r_e}{r_i} = 2;\ B_p = 1{,}7\ Wb/m^2.$$

Deci:

$$r_i^5 = \frac{(1{,}4\cdot 9{,}80)^2\cdot 1\cdot 0{,}0228\cdot 10^{-6}}{0{,}85^2\cdot 1{,}70^2\,\pi^2\cdot 2\cdot 11\cdot 0{,}45\cdot 70\cdot 1} \cong 3{,}01\cdot 10^{-10};$$

$$r_i \cong 0{,}012\ m;$$

$$r_e = 2\ r_i = 0{,}024\ m.$$

Cunoscînd aceste elemente se poate calcula:

$$\frac{wI}{h} = \frac{1{,}4\cdot 9{,}80}{0{,}85\cdot 1{,}7\cdot \pi\cdot 0{,}012^2} \simeq 21\,000\ A.\ sp/m.$$

Dimensiunea h se determină:

$$h = s + \frac{2}{3}\, u,$$

în care:

$$u = \frac{B_p r_i^2 (r_e - r_i)}{0{,}4\ \mu_0\ (r_i + r_e)\left(\frac{wI}{h} - H_p\right)}.$$

Cunoscînd pe h se poate determina wI. Din ecuaţia tensiunii se deduce apoi diametrul conductorului. Diametrul exterior al carcasei rezultă din:

$$0{,}8\ \pi\ (r^2 - r_e^2) = \pi\ r_i^2.$$

În felul acesta datele de proiectare preliminară sînt stabilite. Alegînd dimensiuni uzuale pentru conductor şi piesele fieroase se poate executa desenul electromagnetului (fig. 114) pe baza căruia se vor putea face verificările ca în cazurile precedente.

ε) *Electromagnet în* U. Se cere a se dimensiona un electromagnet avînd caracteristicile: cursa 1,75 mm, forţa 4,5 kgf, tensiunea 120 V, excitaţia continuă, încălzirea maximă $\vartheta = 70°C$.

Ecuaţia forţei are expresia cunoscută:

$$F = \frac{B_\delta^2\, S}{\mu_0},$$

în care S este suprafaţa unei piese polare; B_δ se ia, în acest caz, 0,3 Wb/m².

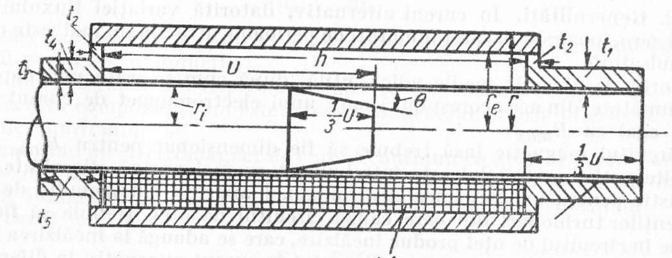


Fig. 114. — Dimensionarea solenoidului cu piston.

Din relaţia dată rezultă:

$$S = \frac{\mu_0 F}{B_\delta^2} = \frac{4\cdot\pi\cdot 10^{-7}\cdot 4{,}50\cdot 9{,}80}{0{,}3^2} \cong 0{,}000\,62\ m^2.$$

Piesa polară de formă patrată are deci latura:

$$l = \sqrt{S} = \sqrt{0{,}000\,62} \cong 0{,}025\ m.$$

Calculul fluxului în miez se face introducînd coeficientul de scăpări ν.

Ecuaţia circuitului magnetic:

$$w\,I = \frac{2B_\delta \delta}{\mu_0} + kwI,$$

în care $k = 0{,}10 - 0{,}20$. Se obţine:

$$wI = \frac{2.25\,B_\delta \delta}{\mu_0} = \frac{2{,}25 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}00175}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}} \simeq 940 \text{ A.sp.}$$

Ecuaţia încălzirii:

$$\vartheta = \frac{q\,\rho}{2K\varphi\,(r_e - r_i)}\left(\frac{wI}{h}\right)^2.$$

Considerînd:

$$\frac{h}{r_e - r_i} = 7,$$

rezultă:

$$h = \sqrt{\frac{3{,}50\,q\rho\,(wI)^2}{K\,\varphi\,\vartheta}}.$$

Din ecuaţia tensiunii rezultă diametrul conductorului:

$$d = \sqrt{\frac{4\rho\,(r_e + r_i)\,wI}{U}}.$$

h) Electromagneţi de curent alternativ

82. **Generalităţi.** În curent alternativ, datorită variaţiei fluxului între un maxim şi zero, în cursul fiecărei jumătăţi de perioadă, atracţia nu mai este constantă, ci este pulsatorie.

Forţa de atracţie medie adică utilă, după cum se arată mai departe, este numai jumătate din acea corespunzătoare unui electromagnet de curent continuu, avînd B egal cu B_{max}.

Circuitul magnetic însă trebuie să fie dimensionat pentru B_{max}, deci în curent alternativ, materialul este întrebuinţat cu mai puţină eficacitate. Mai este caracteristic pentru un asemenea electromagnet apariţia fenomenului de histerezis şi a curenţilor turbionari din care cauză circuitul de oţel trebuie să fie lamelar. Pierderile în circuitul de oţel produc încălzire, care se adaugă la încălzirea bobinelor.

Atracţia unui electromagnet alimentat în curent alternativ la diferite poziţii ale pistonului, este diferită de aceea a unui electromagnet identic, alimentat în curent continuu. Aceasta se datoreşte faptului că intensitatea curentului descreşte cu deplasarea pistonului către interiorul bobinei, deoarece în felul acesta, sporeşte inductanţa şi deci şi reactanţa inductivă. Curentul iniţial poate fi aproximativ de zece ori curentul final.

83. **Forţele electromagneţilor de curent alternativ.** Presupunînd o alimentare cu tensiune sinusoidală, în care termenul jIX este mic faţă de IR, fluxul va fi şi el sinusoidal, avînd în interfier valoarea instantanee $B_M \sin \omega t$ iar forţa instantanee pe unitatea de suprafaţă va fi:

$$F = \frac{(B_M \sin \omega t)^2}{2\mu_0}.$$

Fig. 115 arată schema unui electromagnet monofazat, de tipul cu atracţie directă, iar fig. 116 arată variaţia sinusoidală a fluxului şi variaţia forţei în acelaşi caz.

După cum se vede forţa pulsează de la zero la maximum de două ori în fiecare perioadă. Relaţia de mai sus mai poate fi exprimată astfel:

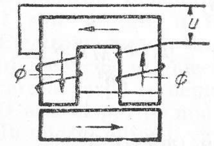


Fig. 115. — Electro magnet cu atracţie directă, monofazat.

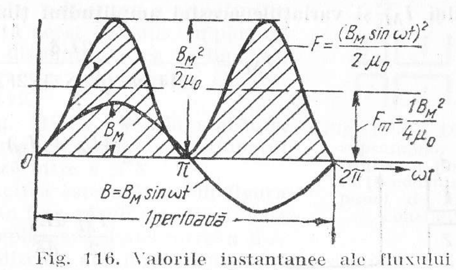


Fig. 116. Valorile instantanee ale fluxului şi forţei.

$$F = \frac{B_M^2 \sin^2 \omega t}{2\mu_0} = \frac{B_M^2}{2\mu_0}\left|\frac{1 - \cos 2\omega t}{2}\right| = \frac{B_M^2}{4\mu_0} - \frac{B_M^2 \cos 2\omega t}{4\mu_0}.$$

Primul termen care este constant reprezintă jumătate din valoarea maximă a forţei. Dar:

$$B_M = B\sqrt{2}$$

şi deci:

$$\frac{B_M^2}{4\mu_0} = \frac{B^2}{2\mu_0},$$

adică aceeaşi expresie ca şi pentru electromagneţii de curent continuu (în care B este valoarea eficace a inducţiei).

Al doilea termen din expresia de mai sus reprezintă componenta variabilă a forţei. Această componentă nu este folosită, în general, şi prin diferite mijloace, se caută să fie suprimată.

Comparînd un electromagnet de curent continuu cu unul de curent alternativ, avînd $B = B_M$ se constată imediat că forţa utilă, a aceluia de curent alternativ este numai jumătate din forţa electromagnetului de curent continuu.

În cazul unui solenoid, forţa este dată de:

$$F = KH\Phi.$$

Ambii factori sînt sinusoidali şi în fază deci forţa utilă va fi tot pe jumătate din cea maximă, adică la fel ca în cazul precedent.

84. **Stabilirea formulei forţei în funcţie de inductanţe.** Se consideră un electromagnet în U cu armătură mobilă dreaptă.

Se aplică relaţia:

$$F = \frac{i^2}{2}\left(\frac{dL_\delta}{d\delta} + \frac{dL_s}{d\delta}\right) + \frac{1}{2}\frac{di^2}{d\delta}(L_\delta + L_s).$$

Se stabileşte că:

$$L_\delta + L_s = w^2(\Lambda_\delta + \Lambda_u l) = \frac{\mu_0 S + 2\Lambda_u \delta l}{2\delta} w^2; \quad \frac{di^2}{d\delta} = \frac{2i\,di}{d\delta};$$

pe de altă parte se ține seamă că:

$$\frac{dL_s}{d\delta} = 0.$$

Pentru a stabili valoarea maximă a forței se va considera amplitudinea curentului I_M și variațiile acestei amplitudini ținînd seamă că:

$$I_M = \frac{2U\delta}{4{,}44\, fw^2 (\mu_0 S + 2l\,\Lambda_u\,\delta)};$$

$$\frac{1}{2}(L_\delta + L_s)\frac{dI_M^2}{d\delta} = \frac{\mu_0 (wI_M)^2 S}{2\delta^2},$$

iar:

$$\frac{I_M^2}{2}\,\frac{dL_\delta}{d\delta} = -\frac{\mu_0 (w\,I_M)^2 S}{4\delta^2}.$$

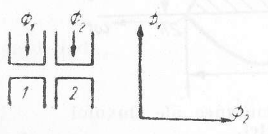


Fig. 117 a. — Electromagnet bifazat și diagrama fluxurilor.

Pe această cale se deduce că:

$$F_M = \frac{\mu_0 (I_M w)^2 S}{4\delta^2} = \frac{B_M^2 S}{4\mu_0},$$

adică o expresie la fel ca în cazul electromagneților de curent continuu.

Dacă alimentarea se face cu un curent constant (adică de amplitudine constantă) relația de mai sus corespunde necesității.

Dacă alimentarea se face cu un curent de tensiune constantă se va înlocui I_M prin valoarea lui din relația de mai sus în funcție de U și se obține:

$$F_M = \mu_0\left(\frac{2U}{4{,}44\, fw}\right)^2 \cdot \left(\frac{S}{S + 2l\,\Lambda_u\,\delta}\right)^2.$$

Această relație și legea variației forței cu mărimea întrefierului.

În cazul electromagnetului în U cu bobina repartizată pe cele două miezuri:

$$F_M = \mu_0\left(\frac{2U}{4{,}44\, fw}\right)^2 \cdot \frac{S}{S + \frac{2l\,\Lambda_u\,\delta}{3}}.$$

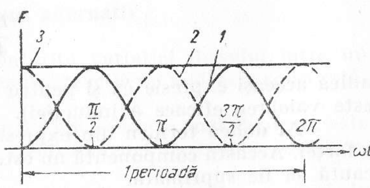


Fig. 117 b. — Forțele instantanee ale unui electromagnet bifazat:
1 — forța corespunzătoare fluxului Φ_1;
2 — forța corespunzătoare fluxului Φ_2;
3 — forța rezultantă.

85. Electromagneți polifazați

α) *Electromagneți bifazați.* Presupunînd că suprafețele polare ale unui asemenea magnet sînt egale și ținînd seama că fluxurile sînt în cuadratură (fig. 117):

$$F_1 = \frac{\Phi_M^2}{2\mu_0 S}\left[\frac{1 + \cos 2\omega t}{2}\right];$$

$$F_2 = \frac{\Phi_M^2}{2\mu_0 S}\left[\frac{1 - \cos 2\omega t}{2}\right].$$

Forța rezultată totală va fi:

$$F = \frac{\Phi_M^2}{2\mu_0 S}$$

Deci forța totală este constantă și egală cu aceea produsă pe jumătate din suprafața polară cu un flux constant egal cu valoarea maximă a fluxului variabil.

Deși forța rezultantă este constantă, punctul ei de aplicație este variabil și anume, se deplasează din centrul lui *1* în centrul lui *2* (fig. 117 a) cu o frecvență dublă decît aceea a curentului de alimentare. Aceasta produce o vibrație, dacă suprafața polilor sau a armăturilor nu este perfect netedă. Se evită acest neajuns împărțind una din suprafețele polare și dispunînd-o ca în fig. 118.

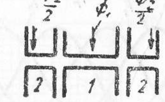


Fig. 118. — Dispoziția suprafețelor polare pentru a obține o forță constantă, cu punct de aplicare constant.

Dispozițiile obișnuite practice ale acestor electromagneți sînt arătate în fig. 119.

Electromagnetul din fig. 119, *a* este, în realitate, un aranjament de doi electromagneți monofazați. Punctul de aplicare al forței se deplasează între *a* și *b*.

O altă dispoziție mai practică este arătată în figura 119, *c*. În miezul mijlociu va fi un flux rezultant. Puctul de aplicare al forței rezultante se deplasează și aici între *a* și *b*.

O dispoziție însă care realizează atît forță constantă cît și punct de aplicare neschimbat este arătată că în fig. 119, *b*.

β) *Electromagneți trifazați.* Forța rezultantă a tuturor polilor este constantă, dar punctul ei de aplicare se va deplasa din *a* în *b* cu dublul frecvenței curentului, deci acest electromagnet se comportă ca și unul bifazat (fig. 120).

Forța totală desvoltată de cei trei poli este de 1,5 ori forța maximă a unui pol.

In rezumat: electromagneții polifazați au următoarele caracteristici:

— Forța rezultantă este constantă.
— Punctul de aplicație al forței se deplasează cu o frecvență dublă decît a curentului de alimentare.
— Utilizarea efectivă a fierului este jumătate din cea care se obține în curent continuu.
— Sînt necesare măsuri (folosirea de bobine în scurtcircuit), pentru a reduce vibrațiile datorite variației forței.

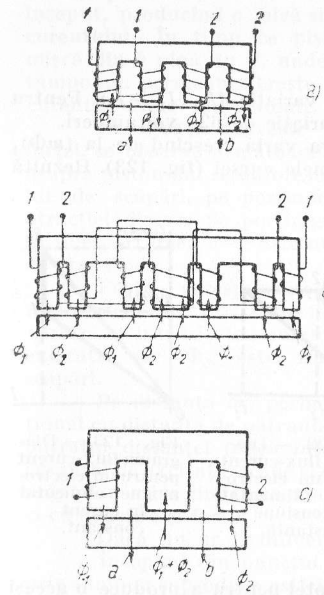


Fig. 119. — Diferite dispoziții obișnuite ale electromagneților bifazați.

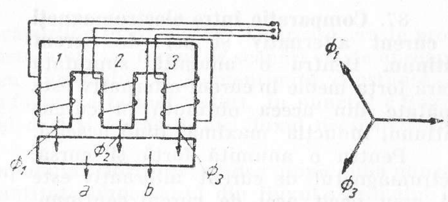


Fig. 120. Electromagnet trifazat.

86. Expresia lucrului mecanic efectuat. Se consideră în cele ce urmează cazul electromagnetului alimentat cu tensiune constantă. Fie I_1 curentul necesar pentru a produce fluxul $(w\Phi)$ la începutul cursei; la finele cursei curentul scade la

I_2', datorită creşterii inductanţei, proprii din cauza întrefierului închis. În cazul unei rezistenţe reduse, tensiunea este practic egală cu tensiunea aplicată reactanţei, iar $(w\Phi)$ rămîne constant în tot timpul mişcării.

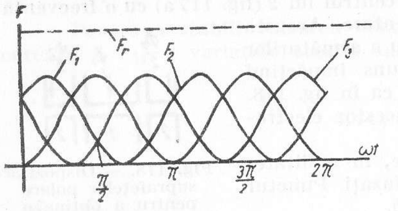


Fig. 121. — Forţele instantanee ale electromagnetului trifazat.

Lucrul efectuat de armătura mobilă în timpul mişcării, este egal cu suprafaţa $0 - 1 - 2 - 0$ din diagrama arătată în fig. 122.

Deci:

$$\Delta W = \frac{w\Phi}{2}(I_1 - I_2),$$

în care Φ şi I sînt valori eficace.

Tensiunea aplicată reactanţei este:

$$U_L = \frac{2\pi fw\,\Phi_M}{\sqrt{2}} = 2\pi fw\Phi,$$

de unde:

$$w\Phi = \frac{U_L}{2\pi f},$$

sau:

$$\Delta W = \frac{U}{4\pi}(I_1 - I_2).$$

Deci, pentru a obţine un lucru ΔW este necesară o variaţie $U_L(I_1 - I_2)$. Pentru a obţine un Joule (la $f = 50$ Hz), este necesară o variaţie de 628 voltamperi.

În cazul alimentării în curent constant $w\Phi$ va varia crescînd de la $(w\Phi)_1$ valoarea la începutul cursei la $(w\Phi)_2$ valoarea la finele cursei (fig. 123). Rezultă în acest caz lucrul mecanic produs:

$$\Delta W = \frac{1}{2}[(w\Phi)_2 - (w\Phi)_1],$$

sau:

$$\Delta W = \frac{1}{4\pi f}[U_{L2} - U_{L1}].$$

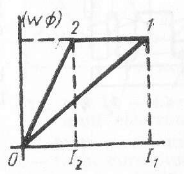


Fig. 122. — Diagrama flux-curent pentru un electromagnet alimentat cu tensiune constantă.

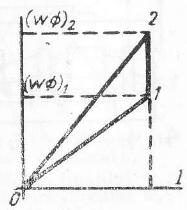


Fig. 123. — Diagrama flux-curent pentru un electromagnet alimentat în curent constant.

87. **Comparaţie între electromagneţi de curent alternativ şi cei de curent continuu.** Pentru o anumită suprafaţă polară forţa medie în curent alternativ este jumătate din aceea obţinută în curent continuu, inducţia maximă fiind aceeaşi.

Pentru o anumită forţă şi cursă, electromagnetul de curent alternativ este mai greu decît acel de curent continuu, deoarece el necesită cel puţin o cantitate dublă de oţel pentru a produce o aceeşi forţă şi deoarece, în general, este necesar mai mult cupru din cauza puterii reactive absorbite.

Toţi electromagneţii de curent alternativ sînt cu acţiune rapidă.

Toţi electromagneţii de curent alternativ trebuie să aibă miezul compus din tole, pe cînd în curent continuu numai electromagneţii rapizi trebuie construiţi în acest fel.

Dacă nu se adoptă o asemenea construcţie în curent alternativ, producerea de curenţi turbionari are ca urmare reducerea randamentului electromagnetului şi creşterea încălzirii oţelului.

88. **Electromagneţi de atracţie directă (cu cursă scurtă).** Se execută de diferite forme ca şi cei alimentaţi în curent continuu, cu adaptările necesare datorite construcţiei din tole.

Fig. 124 arată caracteristicile statice ale unui asemenea electromagnet, funcţionînd la tensiune constantă.

Examinîndu-le se observă următoarele: plecînd din poziţia în care pistonul este cu totul în afara marginei bobinei de excitaţie, curentul are o valoare foarte mare necesară să producă fluxul magnetic prin circuitul de permeanţă redusă corespunzînd acestei poziţii.

Pe măsură ce pistonul înaintează, permeanţa creşte încet, la început, producînd o mică scădere a curentului. În timp ce pistonul se mişcă din b pînă în f, unde atinge tamponul, permeanţa creşte liniar şi curentul scade foarte mult.

În ceeace priveşte variaţia forţei, se observă următoarele: Forţa asupra pistonului se datoreşte fluxului de scăpări, pe porţiunea $a-d$, atracţiei directe pe porţiunea $e-f$, în fine porţiunea $d-e$ este un spaţiu de tranziţie.

Forţa corespunzătoare primului efect este $F = H\Phi_S$ în care H variază cu intensitatea curentului de excitaţie iar Φ_S este fluxul de scăpări.

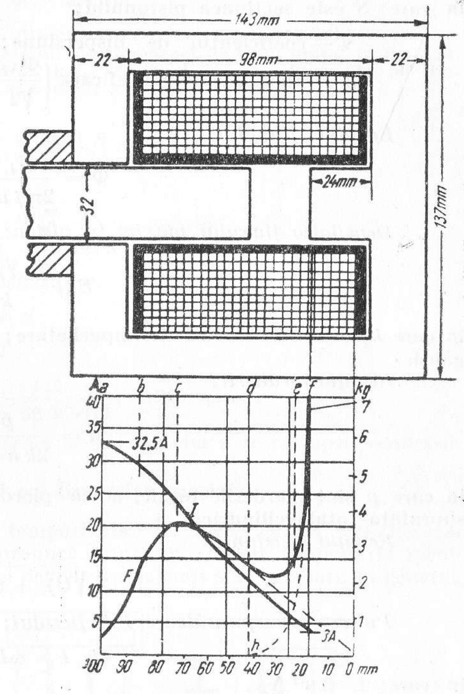


Fig. 124. — Caracteristicile unui electromagnet alimentat în curent alternativ.

Pe distanţa ac, permeanţa scăpărilor între piston şi carcasă creşte proporţional cu distanţa de pătrundere a pistonului, iar fluxul de scăpări creşte aproape cu pătratul distanţei (dacă intensitatea curentului ar fi menţinută constantă. Dar curentul de excitaţie scade şi deaceea forţa creşte mai puţin). În punctul c fluxul de scăpări a atins limita sa maximă, şi deci şi forţa; de aici fluxul de scăpări scade, şi cu el scade şi forţa.

Dacă nu ar fi influenţa tamponului, forţa ar scădea după linia punctată. Începînd din punctul d, o cantitate importantă din fluxul pistonului trece prin tampon şi produce astfel o forţă de atracţie directă. Aceasta forţă creşte aproximativ cu inversul pătratului distanţei între piston şi tampon (curba între h şi f).

89. **Indicaţii de proiectare preliminară a electromagneţilor de atracţie directă** (cursă scurtă). Se cere să se proiecteze un electromagnet cu piston în carcasă. Se dau: cursa δ, forţa F, tensiunea de alimentare U, încălzirea admisibilă şi modul de aplicare al excitaţiei (continuă sau cu întreruperi).

Ecuația forței:

$$F \text{ (forța medie)} = \left(\frac{\Phi}{\nu}\right)^2 \frac{1}{2 S \mu_0},$$

în care: S este secțiunea pistonului;

ν — coeficientul de dispersiune;

Φ — fluxul, valoarea eficace $\left(\frac{\Phi_M}{\sqrt{2}}\right)$.

Ecuația fluxului:

$$\Phi = \frac{U_L}{2\pi f w}$$

Densitatea fluxului maxim în piston:

$$B_M = \frac{\sqrt{2}\ \Phi}{k_1 S},$$

în care k_1 este coeficientul de împachetare; B_M trebuie ales între 12 500—15 500 gauși.

Ecuația încălzirii:

$$\theta = \frac{p}{2k\,h\,l_m},$$

în care p sînt pierderile totale, adică pierderile în cupru și oțel, iar $2hl_m$ este suprafața totală cilindrică.

Ecuația tensiunii:

$$U = \sqrt{U_L^2 + (IR)^2}\,.$$

Puterea corespunzătoare întrefierului:

$$U_L\,I = \omega L I^2,$$

în care: $L = w^2\,\Lambda_\delta$.

Deci:

$$U_L\,I = \omega w^2\,\Lambda_\delta\,I^2 = \frac{\omega\,(wI\,\Lambda_\delta)^2}{\Lambda_\delta} = \frac{\omega\,\Phi^2}{\Lambda_\delta}.$$

Altă expresie pentru această valoare este:

$$2\pi f\,\Phi\,w\,I.$$

Aplicarea relațiilor de mai sus se face în modul următor:
Alegînd pe B_M, k_1 și ν, se deduce Φ din relația:

$$\Phi = \frac{B_M\,k_1\,S}{\sqrt{2}}$$

Introducînd acum pe Φ în relația forței, se obține:

$$F = \frac{1}{2\mu_0 S}\left(\frac{B_M k_1 S}{\nu\sqrt{2}}\right)^2,$$

de unde rezultă: S. Cunoscînd pe S, se poate deduce Φ.
Numărul spirelor rezultă din:

$$w = \frac{U_L}{2\pi f\,\Phi} \simeq \frac{U}{2\pi f\,\Phi}$$

Cu rezultatele obținute se aleg dimensiunile electromagnetului.

Aplicație. Se cere să se dimensioneze un electromagnet de tipul arătat în fig. 124, avînd caracteristicile: cursa 3,2 mm, forța 22 kgf, tensiunea 115 V, frecvența 50 Hz. Se consideră $B_M = 1{,}4$ Wb/m²; $k_1 = 0{,}90$; $\nu = 1{,}41$.

Se deduce:

$$\Phi = \frac{B_M\,k_1\,S}{\sqrt{2}} = \frac{1{,}4 \cdot 0{,}90\ S}{\sqrt{2}} \simeq 0{,}9\ S.$$

Din ecuația forței rezultă:

$$F = \left(\frac{1{,}4 \cdot 0{,}9 \cdot S}{1{,}41\sqrt{2}}\right)^2 \frac{1}{2\,\mu_0\,S} = 22 \cdot 9{,}80$$

și deci:

$$S \simeq 0{,}0016 \text{ m}^2.$$

Fluxul în piston:

$$\Phi = \frac{B_M\,k_1\,S}{\sqrt{2}} = 0{,}0014 \text{ Wb}.$$

Numărul spirelor:

$$w = \frac{U}{2\pi f\,\Phi} = \frac{115}{2\pi\ 50 \cdot 0{,}0014} = 260 \text{ spire}.$$

Pe baza acestor elemente se desenează electromagnetul și se fac apoi verificările

i) Electromagneți cu dispoztive speciale

90. Electromagneți cu acțiune temporizată. În unele cazuri este necesar ca acțiunea electromagnetului să se producă după un anumit timp de la închiderea sau deschiderea circuitului. Astfel de electromagneți sînt necesari, în general,

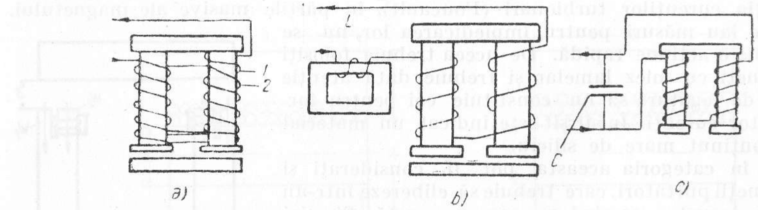


Fig. 125. — Dispozitive cu acțiune temporizantă:
1 — bobinaj primar; *2* — bobinaj secundar.

în mecanismele cu acțiune selectivă. Temporizarea poate fi produsă pe trei căi:

— cu ajutorul electromagnetului însuși, făcînd ca variația fluxului să fie decalată în urma variației curentului;

— folosind un circuit de temporizare sau

— folosind un dispozitiv de temporizare.

Prima cale este folosită, adoptînd o înfășurare secundară, scurtcircuitată (fig. 125, *a*). Metoda aceasta este potrivită pentru a produce întîrzieri de ordinul constantei de timp a circuitului primar al electromagnetului.

A doua cale constă în utilizarea unui dispozitiv de acumulare de energie: o inductanță conectată în serie (fig. 125, *b*), care întîrzie stabilirea curentului

în bobina electromagnetului la închiderea circuitului, sau în fine un condensator conectat în paralel, care întîrzie scăderea curentului la întreruperea circuitului (fig. 125, *c*).

Cînd se folosește un condensator, circuitul poate deveni oscilant, în anumite condiții. A treia cale constă în a introduce între întreruptor și electromagnet un dispozitiv auxiliar mecanic sau electric.

Ca dispozitiv mecanic se poate folosi un amortizor cu piston sau un mecanism de ceasornic, care la finele unui anumit interval de timp închide sau deschi de circuitul electric de excitație ale electromagnetului. Dispozitivul cu ceasornic este folosit pentru a produce întîrzieri lungi și anume de ordinul fracțiunilor de minut.

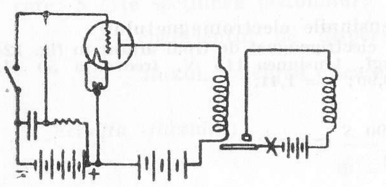


Fig. 126. — Montaj electronic cu acțiune temporizantă.

Ca dispozitive electrice, se folosesc montaje electronice, pentru întîrzieri de cîteva secunde sau fracțiuni de secundă (fig. 126).

91. **Electromagneți cu acțiune rapidă.** În această categorie intră acei electromagneți la cari durata de acționare trebuie să fie determinată dinainte sau aceia a căror funcționare trebuie să aibă loc într-un interval de timp minim dat. În această categorie intră electromagneții pentru relee și electromagneții de acțiune.

Unele aplicații ale acestor electromagneți sînt dintre cele mai interesante, de exemplu, obturatorul fotografic electromagnetic.

Proiectarea unui electromagnet de acest tip este dificilă din cauza relațiilor matematice complicate, datorită aplicării legilor de mișcare și a celor electromagnetice, ceea ce conduce la trei variabile independente: forța, cursa și timpul. Se ajunge astfel la ecuații diferențiale liniare cu parametri variabili, dintre care unii sînt funcțiuni de două variabile. De aceea proiectarea necesită încercări și experiență.

Un alt element care produce complicații în calculul acestor electromagneți este apariția curenților turbionari (Foucault), în părțile masive ale magnetului. Dacă nu se iau măsuri pentru împiedicarea lor, nu se poate obține o acțiune rapidă. De aceea trebuie folosiți electromagneți cu miez lamelar și trebuie dată atenție ca niturile de legătură să nu constituie căi pentru formarea acestor curenți. În sfîrșit este indicat un material feros cu conținut mare de siliciu.

Tot în categoria aceasta pot fi considerați și electromagneții purtători, care trebuie să elibereze într-un timp foarte scurt o sarcină pe care o poartă. Și aici efectul curenților turbionari este dăunător și deci ei trebuie evitați; dar mai trebuie luate și precauții cu privire la întreruperea circuitului. O întrerupere obișnuită prelungește curentul datorită arcului care se formează; de aceea trebuie instalate dispozitive pentru dispersarea rapidă a energiei înmagazinate în cîmpul magnetic, ca de exemplu un condensator în derivație.

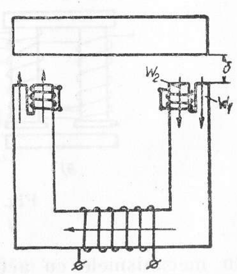


Fig. 127. — Electromagnet cu bobinaj în scurtcircuit.

92. **Electromagneți cu bobinaj în scurtcircuit.** S-a arătat că în cazul electromagneților alimentați în curent alternativ, forța este variabilă. Aceasta provoacă zgomot și trepidații. Pentru a le evita se construiesc electromagneți cu un bobinaj suplimentar scurtcircuitat (fig. 127). Uneori acest bobinaj este compus dintr-o singură spiră.

Acesta acționează astfel: Fluxul care îl străbate nu este în fază cu fluxul care se stabilește în bobinajul principal și deci el nu trece prin zero în același timp. Urmarea este că forța dezvoltată de electromagnet nu trece prin zero nici odată iar vibrațiile și zgomotul nu se mai pot produce.

Dar mai este și un alt efect: Valoarea medie a forței dezvoltate este mai mică decît în cazul cînd lipsește bobinajul scurtcircuitat.

j) Bobinajul electromagneților

93. **Descriere generală.** Bobinajul unui electromagnet este montat pe o carcasă care, în general, este de preșpan; uneori se folosesc și carcase metalice de alamă, căptușite cu preșpan. Dacă înfășurarea atinge temperaturi înalte, trebuie folosite produse de mică în locul preșpanului. În cazul electromagneților de curent alternativ, nu se pot utiliza carcase metalice, căci acestea ar constitui spire scurtcircuitate, care ar produce încălzire.

Conductorii sînt de cupru și uneori de aluminiu, de obicei rotunzi; mai rar se folosesc conductori cu secțiune rectangulară. Izolația conductorilor poate fi din email, bumbac sau mătase; în general, se folosește izolația de bumbac. Pentru economisirea spațiului se poate adopta simpla înfășurare de bumbac dar aceasta nu este totdeauna sigură.

Dacă înfășurările sînt expuse la temperaturi înalte se folosește uneori și izolația de asbest. În sfîrșit, trebuie notată introducerea în practică a conductorilor cu izolație de sticlă.

La bobinele supuse la tensiuni mari se pune între straturi o izolație specială din carton, micanit sau din alți izolanți.

În cazul secțiunilor mari și al numărului mic de spire, se întrebuințează bandă de cupru sau conductor de cupru neizolat, înfășurat elicoidal, cu distanța necesară între spire spre a le izola între ele, la tensiunea corespunzătoare.

94. **Diferitele feluri de bobinaj.** Bobinajul se execută în mai multe feluri:

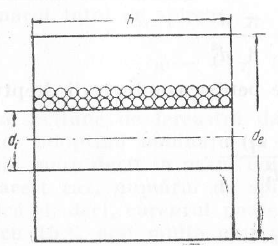


Fig. 128. — Bobinaj în rînduri

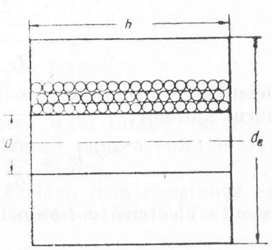


Fig. 129. — Bobinaj în șah.

— bobinaj cu pas (sau în rînduri), caracterizat prin faptul că o spiră se suprapune alteia (fig. 128);

— bobinaj, zis în șah, la care spira într-un strat corespunde la intervalul dintre două spire din stratul următor (fig. 129);

— bobinaj neregulat, care se execută cu conductori avînd diametru mai mic de 0,35 mm.

Bobinele pot fi executate rotunde sau în formă dreptunghiulară, cu colțurile teșite sau rotunjite (fig. 130).

Este necesar ca numărul amperspirelor și diametrul conductorilor să fie calculați în funcție de diferite date. În acest scop sînt utilizabile soluțiile de mai jos:

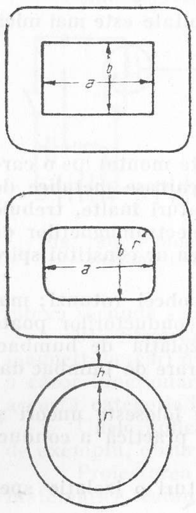


Fig. 130. — Diferite forme de bobine.

α) *Bobinajul în rînduri*. Bobine rotunde.

Grosimea bobinajului:

$$H = \frac{d_e - d_i}{2},$$

în care: d este diametrul conductorului neizolat;
d_1 — diametrul conductorului izolat;
d_e — diametrul exterior al bobinei;
d_i — diametrul interior al bobinei.

Diametrul mediu al bobinei:

$$d_{\text{med.}} = \frac{d_e + d_i}{2}.$$

Secțiunea ferestrei este:

$$S = (r_e - r_i)\, h = w d_1^2$$

Lungimea medie a spirei:

$$\pi d_m = \frac{\pi (d_e + d_i)}{2},$$

(adică lungimea unei spire aflate la jumătatea grosimii bobinei).

Coeficientul de umplere al bobinajului:

$$\varphi = \frac{\frac{\pi d^2}{4} w}{(r_e - r_i)\, h} = \frac{\pi}{4} \frac{d^2}{d_1^2}.$$

Coeficientul de umplere este mai mare pentru conductorii dreptunghiulari.

Numărul spirelor:

$$w = \frac{S}{d_1^2} = \frac{(r_e - r_i)\, h}{d_1^2}.$$

Rezistența electrică a bobinei:

$$R = \frac{4 \rho\, l_m w}{\pi d^2}.$$

Numărul amperspirelor:

$$wI = w \frac{U}{R} = \frac{\pi d^2\, U}{4 \rho\, l_m}.$$

Diametrul conductorului trebuie uneori calculat pentru dimensiuni date ale bobinei și pentru rezistența dată. În acest caz:

$$\frac{\pi d^2}{4} w = \varphi S;$$

dar:

$$R = \frac{\rho l_m}{\frac{\pi d^2}{4}} \cdot \frac{S \varphi}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{16\, \rho l_m S \varphi}{\pi^2 d^4}.$$

Deci:

$$d = 35{,}65 \sqrt[4]{\frac{l_m \rho S\, \varphi}{R}}.$$

Rezistența electrică a bobinajului este:

$$R = \frac{\rho l_m\, w}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{\rho l_m\, w^2}{\varphi S},$$

iar greutatea bobinajului:

$$G = \frac{\gamma \pi\, d^2\, l_m\, w}{4} = \gamma \varphi\, S l_m.$$

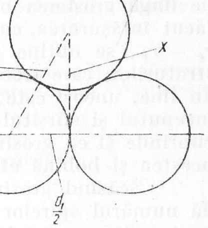


Fig. 131. — Distanțe între două rînduri la bobinajul în șah.

β) *Bobinajul în șah*. Distanța dintre două straturi suprapuse rezultă conform fig. 131:

$$x = \sqrt{d_1^2 - \left(\frac{d_1}{2}\right)^2} = 0{,}867\, d_1.$$

Grosimea bobinei:

$$H = (\eta_1 - 1)\, x + d_1 = 0{,}867\, \eta_1 d_1 + 0{,}133\, d_1 \sim 0{,}867\, \eta_1 d_1,$$

η_1 fiind numărul straturilor.

Numărul total de spire:

$$w = \frac{l}{d_1} \eta_1 = \frac{Hl}{0{,}867\, d_1^2} = 1{,}15 \frac{S}{d_1^2}.$$

La o secțiune de fereastră dată, plasarea unui număr maxim de amperspire se face adoptînd bobinajul în șah și alegînd pentru conductori o secțiune cu 15% mai mare decît în cazul bobinajului în rînduri.

În acest caz, numărul de spire va fi același, însă rezistența este de 1,15 ori mai mică și, deci, curentul poate fi de 1,15 ori mai mare. În concluzie, bobinajul are cu 15% mai multe amperspire.

γ) *Bobinaj neregulat*. Numărul spirelor este dat aci de:

$$w = \frac{l\,(d_e - d_i)\, k}{l d_1^2},$$

în care k este un coeficient care ține seama de numărul mai redus de spire ($k = d_1 + 0{,}65$ la $d = 0{,}1 - 0{,}3$ mm, pentru sîrma izolată cu bumbac; $k = \frac{d_1^2}{\alpha d - \beta}$ pentru sîrma izolată cu email, în care $\alpha = 1{,}25$, iar $\beta = 0{,}003$ pentru valori mici ale lui d și $\beta = 0{,}006$ pentru valori mari ale lui d).

95. **Calculul bobinajului unui electromagnet de curent continuu** constă în găsirea secțiunii potrivite a conductorului, care trebuie înfășurat în amplasamentul ale cărui dimensiuni sînt date, astfel ca să se obțină numărul amperspirelor necesare, la tensiunea dată. Deobicei, diametrul interior al bobinei d_i rezultă din expresia forței pe care trebuie să o dezvolte electromagnetul, iar diametrul exterior d_e este limitat de spațiul pus la dispoziție.

Din ecuația tensiunii se poate determina diametrul conductorului. Cu aceasta trebuie apoi făcută următoarea verificare: grosimea bobinei $r_e - r_i$ cuprinde, pe lîngă grosimea bobinajului propriu zis, și pe aceea a mosorului, pe care s-a făcut înfășurarea, cuprinde izolația exterioară etc. Scăzînd grosimile acestora din $r_e - r_i$, se obține grosimea netă, și împărțind-o prin d_1, se deduce numărul straturilor, care trebuie să fie un număr întreg. Pentru a-l obține se modifică r_e. În fine, uneori este necesar ca numărul straturilor să fie pereche, astfel ca începutul și sfîrșitul înfășurării să fie spre același capăt al bobinei. Lungimea h cuprinde și ea grosimea flanșelor mosorului înfășurării, grosimea izolantului între acestea și bobină etc.

Scăzînd grosimea acestor izolanți, se obține h net, care, împărțit prin d_1 dă numărul spirelor fiecărui strat. Se obține astfel numărul total al spirelor și apoi secțiunea totală a conductorilor.

Se determină factorul de umplere și se compară cu cel inițial presupus. Se calculează apoi lungimea medie a spirelor. În acest scop la r_i se adaugă grosimea mosorului, izolația între aceasta și bobină, cum și jumătate din grosimea netă a bobinei. Cu această rază medie se calculează lungimea medie a spirei, rezistența totală a înfășurării, intensitatea curentului și apoi numărul amperspirelor.

Se verifică apoi încălzirea cu datele definitive ale bobinei.

Încălzirea suprafeței exterioare a bobinei (în regim staționar) este dată de:

$$\vartheta = \frac{p}{k\, S_b},$$

în care: ϑ este încălzirea în °C;
S_b — suprafața exterioară a bobinei, în cm²;
k — coeficientul de transmitere a căldurii, în W/grd cm²;

În cazul răcirii naturale:

$$k = 25 \cdot 10^{-4}\ \text{W/grd cm}^2,\ \text{pentru}\ \frac{l}{2r_e} < 1;$$

$$k = 20 \cdot 10^{-4}\ \text{W/grd cm}^2,\ \text{pentru}\ \frac{l}{2r_e} \approx 1;$$

$$k = 16 \cdot 10^{-4}\ \text{W/grd cm}^2,\ \text{pentru}\ \frac{l}{2r_e} > 1,$$

în care: l este lungimea bobinei;
r_e — raza exterioară a bobinei.

Încălzirea unui strat interior față de temperatura stratului exterior este dată de:

$$\vartheta = \frac{p}{4\lambda_b}(r_e^2 - r^2) - \frac{p}{2\lambda_b} r^2 \ln \frac{R}{r}$$

în care: r_e este raza exterioară a bobinei, în cm;
r — raza stratului interior considerat, în cm;

$p = \dfrac{p_l}{\pi l (r_e^2 - r^2)}$ pierderile de putere aferente unității de volum a bobinei, în W/cm³;

λ_b — coeficientul de conductivitate al bobinei, în W/cm grd$= 0{,}6\, \lambda_{iz} \dfrac{d}{2\delta}$;

λ_{iz} — coeficientul de conductivitate al izolației conductorilor bobinei, în W/cm grd.

Aplicație. Urmează calculul simplificat al unei bobine de electromagnet, pentru care sînt date: numărul amperspirelor 1623 și tensiunea de alimentare 220 V. Amplasamentul bobinei este arătat în fig. 132:

$$U = IR = \frac{\rho l_m w I}{s} = \frac{\rho\, l_m \text{A} \cdot \text{sp}}{s};\ \rho = \frac{1}{47}\ \text{pentru cupru încălzit};$$

l_m = lungimea medie a spirei = 0,271 m;

$$s = \frac{\rho\, l_m w I}{U} = \frac{0{,}271 \cdot 1623}{47 \cdot 220} = 0{,}0426\ \text{mm}^2;$$

$$s = \frac{\pi d^2}{4};\ d = 0{,}233\ \text{mm} \sim 0{,}25\ \text{mm}$$

(se alege conductor cu dublă izolație de bumbac cu $d = 0{,}41$ mm);

$$w = \frac{S}{d_1^2} = \frac{80 \cdot 30}{0{,}412} = 14\,300\ \text{spire};$$

$$R = \frac{\rho\, l_m w}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{0{,}271 \cdot 14\,300}{47 \cdot \frac{0{,}25^2 \cdot \pi}{4}} = 1680\ \Omega;$$

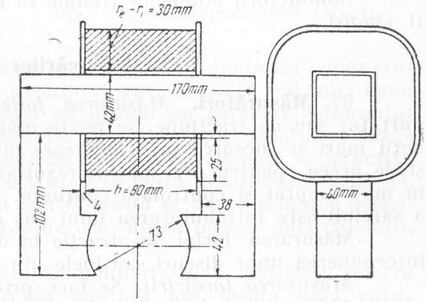


Fig. 132. — Bobinajul unui electromagnet.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{1\,680} = 0{,}131\ \text{A};\ \text{A} \cdot \text{sp} = 0{,}131 \cdot 14300 = 1870$$

$$p_{cu} = RI^2 = 0{,}131^2 \cdot 1680 = 24{,}5\ \text{W}.$$

Suprafața transmițătoare de căldură, după figură este:

$$S_b = 0{,}02\,92\ \text{m}^2.$$

Admițînd un coeficient de transmitere a căldurii de 14 W/m² grd rezultă o încălzire de:

$$\vartheta = \frac{24{,}5}{14 \cdot 0{,}0292} = 60°\text{C}.$$

96. **Executarea bobinajelor** se poate face în două feluri:

— conductorul este înfășurat pe un mosor prin rotirea acestuia și prin ghidarea firului;

— conductorul este înfășurat pe un șablon formînd o bobină care apoi este fixată la locul ei.

În general, bobinele executate sînt bine uscate, scufundate în lac izolant și ținute apoi într-un cuptor sau sînt supuse unui tratament de impregnare.

Cuptorul de uscare prealabilă este bine ventilat, iar temperatura lui este menținută la 85—95°C. Durata operației este de circa 6 ore pentru îndepărtarea cît mai completă a umidității.

Imersiunea în lac se face cît timp bobinele sînt încă calde și durează pînă ce lacul a pătruns bine în interiorul bobinei, ceea ce se constată prin încetarea apariției bulelor de aer.

Bobinele se scot și se usucă apoi răsturnîndu-le din cînd în cînd din poziția verticală, pentru a împiedica formarea de picături de lac. După aceea sînt din nou introduse în cuptor la aceeași temperatură, mai sus indicată, și ținute 12—14 ore, după mărimea bobinei și felul lacului.

Uneori bobinele sînt impregnate în vid. Prin facerea vidului este îndepărtat atît aerul, cît și umezeala. După ce uscarea s-a terminat se introduce lacul izolant în vasul de vid. Stabilind presiunea atmosferică deasupra lichidului, izolantul este împins în bobină. Bobinele montate se acoperă cu un înveliș de pînză uleiată, carton și sfoară și sînt scufundate de mai multe ori într-un lac care se usucă în aer liber, pentru a le da un strat protector de finisare, care împiedică pătrunderea umidității.

Conductorii bobinelor trebuie să fie bine fixați la locul lor spre a nu putea fi smulși.

k) Încercărilor electromagneților

97. **Măsurători.** *Măsurarea forței de atracție.* Forța unui magnet mic, purtător sau de tracțiune, se poate măsura cu ajutorul unui cîntar cu arc. Magneții mari se încearcă prin încărcare directă. Momentul desprinderii apare brusc și de aceea, pentru a se obține rezultate precise, sarcina trebuie să fie aplicată în mod treptat și controlată continuu. Un exemplu simplu de aplicare treptată a sarcinii este întrebuințarea unui vas care se umple încet cu apă sau cu alice.

Măsurarea forței de atracție la diferite mărimi de întrefier se face prin interpunerea unor discuri sau inele din material nemagnetic, de grosimi potrivite.

Măsurarea încălzirii. Se face prin măsurarea variației de rezistență.

Măsurarea rezistenței, se face cu o punte Wheatstone sau cu un ohmmetru.

98. **Încercări.** *Încercările de izolație,* între spire și miez etc., se face cu tensiuni depinzînd de tensiunea de serviciu.

Încercarea la scurtcircuit. Se face așezînd bobinele pe miezul unui transformator special, cu ajutorul căruia se induce o f.e.m. puternică.

Încercarea la străpungere. Se face introducînd bobina pe un miez laminat (din tole), se stabilește un curent mare și apoi se întrerupe brusc, spre a se induce o tensiune instantanee mare. Reducerea rezistenței de izolație, constatată prin măsurătoare ulterioară, arată eficacitatea izolației.

l) Utilizări ale electromagneților

99. **Electromagneți elevatori.** Aceștia au un cîmp mare de aplicație la manipularea pieselor de oțel și a materialelor magnetice în vrac; întrebuințarea lor prezintă avantajul suprimării cîrligelor pentru apucarea sarcinii, pe care le cer alte sisteme de ridicare și deci întrebuințarea electromagneților evită prezența unui om la nivelul solului, înafara celui de la manevra macaralei. Sarcina maximă de ridicare depinde nu numai de mărimea electromagnetului ci și de felul materialului de manipulat. Astfel, un electromagnet care poate ridica o tonă de deșeuri amestecate, va putea ridica 20 t de material în piesă unică. Deoarece curentul de excitație maxim admisibil depinde de încălzire, capacitatea de ridicare depinde și de felul serviciului, adică de duratele cît electromagnetul este alimentat în regim

de lucru intermitent. Condițiile de lucru ale electromagneților impun în general o construcție robustă și etanșă. Astfel, electromagneții folosiți pentru manipularea lingourilor de oțel fierbinte trebuie construiți astfel ca bobinele să fie apărate de căldură (izolație de mică) și să poată fi răciți prin cufundare în apă.

Electromagneții elevatori folosesc numai curent continuu, din cauza atracției uniforme cerute de această utilizare și din cauză că nu se încălzesc prin pierderile datorite curenților turbionari și prin histerezis.

Acești electromagneți au foarte adesea formă circulară (fig. 133). Carcasa este din oțel magnetic de foarte bună calitate și este prevăzută cu urechi de prindere. Bobina este așezată într-o cutie introdusă în cavitatea inelară a carcasei și este înțepenită pe loc printr-o placă de material nemagnetic.

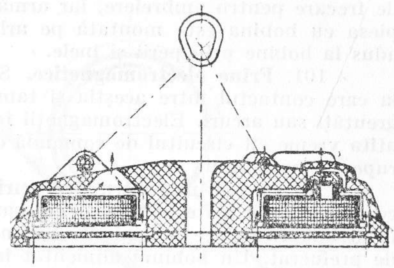


Fig. 133. — Electromagnet elevator.

Unii magneți ridicători au înfășurarea bobinelor din conductori panglică, care se adaptează acestui scop mai bine decît cei rotunzi. Ca material conductor se folosește uneori aluminiul, care prezintă avantajul unei greutăți mai mici decît a cuprului. Din cauza curenților intenși și a circuitului cu caracter pronunțat inductiv, deconectările nu se pot face brusc. De aceea electromagnetul se leagă la un controler prin a cărui manevră se inserează în circuit rezistențe neinductive înainte de întreruperea propriu zisă. În acest mod se evită deteriorarea izolației, prin descărcări de ruptură. Tot cu ajutorul controlerului se poate schimba polaritatea și anula astfel magnetismul remanent, spre a se libera piesele mici (șpanuri, deșeuri etc.).

Se construiesc și electromagneți dreptunghiulari mai potriviți pentru ridicarea tablelor, barelor, țevilor etc. Carcasa acestora are forma unei cutii, cu o proeminență centrală, care constituie polul.

Pentru a ridica plăci de dimensiuni mari se folosesc doi electromagneți atîrnați de o bară comună. Pentru orientare sînt indicate datele din tabelele 14 și 15 referitoare la construcții de electromagneți.

Tabela 14. Electromagneți elevatori rotunzi

Diametrul mm	Puterea kW	Greutatea kg
700	1,8	350
900	2,9	600
1000	3,3	750
1100	3,8	900
1300	5,0	1550
1400	6,0	1750
1500	7,0	1900
1700	9,0	2900
1900	11,0	3300

Tabela 15. Electromagneți elevatori dreptunghiulari

Lungimea mm	Lățimea mm	Puterea kW	Greutatea kg
600	300	1,0	250
600	400	1,2	330
800	300	1,2	350
800	400	1,6	500
800	500	2,0	640
900	300	1,2	420
900	400	1,7	580
900	500	2,3	740
1000	300	1,4	450
1000	400	2,1	630
1000	500	2,5	800
1100	400	2,3	600
1100	500	2,8	800
1100	600	3,0	1000
1400	500	3,2	1200
1400	600	3,6	1450
1400	800	4,0	2000

100. **Ambreiaje electromagnetice.** Prezintă multe avantagii prin faptul că ambreierea și debreierea se face prin simpla stabilire și întrerupere a curentului. În general, un asemenea ambreiaj se compune din două piese; cea care poartă bobinele de excitație și cea care constituie armătura, și care este atrasă de prima la stabilirea curentului. Suprafețele de contact ale celor două piese au garnituri de frecare pentru ambreiere, iar armătura are arcuri pentru revenire. În general, piesa cu bobina este montată pe arborele de acționare. De aceea curentul este adus la bobine prin perii și inele.

101. **Frîne electromagnetice.** Sînt frîne cu frecare, cu saboți sau bandă, la care contactul între aceștia și tamburul de frînă se obține cu ajutorul unor greutăți sau arcuri. Electromagneții fac operația de eliberare. Frîna este eliberată atîta vreme cît circuitul de comandă este alimentat și se strînge automat la întreruperea curentului.

102. **Mandrine pentru strunguri.** În cazurile cînd se uzinează piese de forme complicate din material fieros și în cantitate mare, se pot folosi cu rezultate bune, la strunguri și alte mașini unelte, mandrine electromagnetice care fixează piesa de prelucrat. Un bobinaj alimentat în curent continuu produce un cîmp concentrat și uniform la suprafața bine șlefuită a mandrinei.

La întreruperea curentului, magnetismul remanent este, uneori destul de puternic pentru a împiedica desprinderea piesei. De aceea întreruptorul de curent, pe lîngă pozițiile închis-deschis, mai are încă și o poziție de demagnetizare. În această poziție, sensul curentului este inversat, pentru a se anula magnetismul remanent și a se putea ridica lesne piesa de pe mandrină.

103. **Separatoare electromagnetice.** Aparatele electromagnetice de triat au o întinsă aplicare în industrii. Utilizarea unui astfel de aparat este recomandată ori de cîte ori manipulîndu-se material în masă este necesară înlăturarea bucăților de oțel rătăcite în el, în special cînd procesul de fabricare implică măcinare sau concasare. Aceste aparate de triat mai sînt folosite și pentru separarea rapidă a deșeurilor metalice fieroase de cele nefieroase.

Buna funcționare a unui separator electromagnetic depinde de uniformitatea grosimii stratului care trebuie triat și de aceea, uneori trebuie adăugate dispozitive speciale de alimentare. Separatoarele electromagnetice se construiesc în formă de tobă, de valțuri etc.

Toba este echipată în interior cu un electromagnet fix și cu o astfel de formă încît numai o parte a suprafeței ei este supusă acțiunii magnetice. În jurul electromagnetului se învîrtește toba.

Separarea materialelor fieroase de cele nefieroase se face prin reținere (fig. 134, *a*) sau prin extragere (fig. 134, *b*).

Ca date de orientare se indică următoarele pentru tipul prin reținere:

diametrul tobei:	215 — 290 mm;
lungimea tobei:	235 — 800 mm;
puterea :	75 — 450 W.

Tobele electromagnetice foarte puternice sînt indicate a fi folosite de fabricile de zahăr, pentru a separa părțile fieroase înainte ca sfecla să ajungă la mașinile de tocat. O a doua triere se mai face înainte de rafinare, pentru a îndepărta părțile foarte mici, eventual antrenate, sau provenind din însăși mașinile și instalațiile prelucrătoare.

O altă utilizare importantă este la separarea minereurilor sau a cărbunilor, unde sînt necesare sisteme magnetice foarte puternice pentru ca efectul lor să se resimtă în adîncimea stratului.

Cu ajutorul unor dispozitive speciale, separarea magnetică este folosită și pentru minereuri ale căror proprietăți magnetice, sînt foarte reduse față de ale

fierului. În sfîrșit se construiesc și instalații de triere pentru a separa materiale ale căror proprietăți magnetice au diferite intensități.

Curentul folosit pentru toate aceste aparate este cel continuu.

104. **Ciocan electric.** Are două bobine și un piston liber, funcționînd în sincronism cu circuitul alternativ la care este conectat. Tuburi electronice ser-

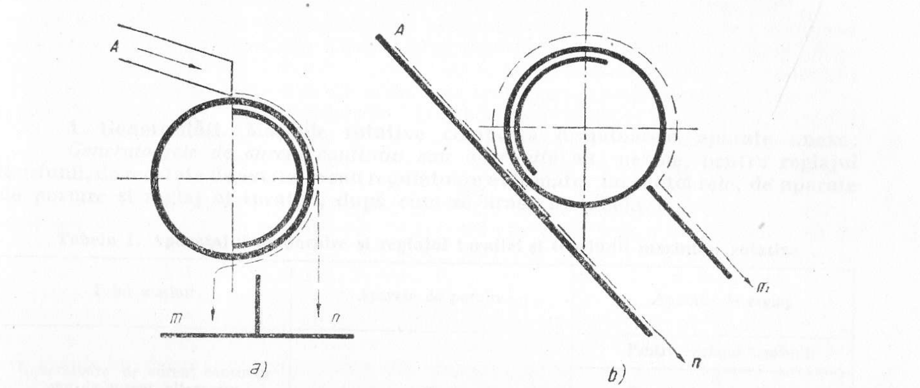


Fig. 134. — Schema separatorului electromagnetic; *a* — prin reținere; *b* — prin extracție; *A* — sosirea materialelor de triat; *m* — fluxul materialelor magnetice; *n* — fluxul materialelor nemagnetice.

vesc pentru redresarea curentului alternativ spre una și spre cealaltă bobină, și pentru conectarea lui periodică de la un solenoid la altul, spre a da pistonului o mișcare de du-te-vino.

105. **Relee.** Un cîmp important de utilizare a electromagneților îl constituie domeniul releelor, despre care se tratează într-un capitol special.

106. **Dispozitivele de acționare** a diferitelor mecanisme prin comandă voită, locală sau dela distanță, cum și prin comandă automată, folosesc electromagneți. În Cap. III al acestui volum, § 80—85, sînt descrise astfel de dispozitive pentru acționarea întreruptoarelor. De asemenea trebuie menționate contactoarele electromagnetice.

II. APARATE DE PORNIRE ȘI REGLAJ PENTRU MAȘINI ROTATIVE

1. Generalități. Mașinile rotative comportă următoarele aparate anexe: *Generatoarele de curent continuu sau alternativ* au nevoie, pentru reglajul tensiunii, de reostate de excitație sau regulatoare automate, iar motoarele, de aparate de pornire și reglaj al turației, după cum se arată în tabela 1.

Tabela 1. Aparatajul de pornire și reglajul turației și tensiunii mașinilor rotative

Felul mașinii			Aparate de pornire	Aparate de reglaj
				Pentru reglajul tensiunii
Generatoare de curent continuu sau de curent alternativ			—	1. **Reostate de excitație** 2. **Regulatoare automate**
Electromotoare			Pentru pornire	Pentru reglajul turației
De curent continuu		cu excitație derivație	Reostate de pornire în circuitul indusului	1. Reostate de reglaj în circuitul polilor inductori 2. Reostate de pornire și reglaj în circuitul indusului
De curent continuu		cu excitație serie	Reostate de pornire în circuitul indusului	1. Reostate de pornire și reglaj în circuitul indusului 2. Rezistențe în derivație în circuitul polilor inductori
De curent alternativ	Asincrone trifazate	cu rotorul bobinat	Reostate de pornire în circuitul rotorului	Reostate de pornire și reglaj în circuitul rotorului
De curent alternativ	Asincrone trifazate	cu rotorul în scurtcircuit	1. Comutatoare stea-triunghi în circuitul statorului 2. Autotransformatoare de pornire în circuitul statorului	—
De curent alternativ	Asincrone monofazate	cu rotorul bobinat	Bobină în circuitul statorului și reostat de pornire în circuitul rotorului	—
De curent alternativ	Asincrone monofazate	cu rotorul în scurtcircuit	Bobină și rezistență în circuitul statorului	—

Motoarele de curent continuu de putere foarte mică, cum și motoarele asincrone trifazate cu rotorul în scurtcircuit, de asemenea de putere mică, se pot porni direct prin simplă conectare la rețea, prin intermediul unui întreruptor manual, automat sau cu comandă la distanță, și fără intermediul vreunui aparat special de pornire.

Motoarele asincrone trifazate cu rotorul bobinat și cu inele se pornesc întotdeauna cu ajutorul reostatelor conectate în circuitul rotorului și sînt susceptibile de un reglaj al turației tot printr-un reostat anume construit, conectat în circuitul rotorului.

Motoarele asincrone monofazate se pornesc cu ajutorul aparatelor arătate în tabela 1, afară de cazurile cînd aceste dispozitive sînt cuprinse în însăși construcția motorului, fiind comandate, în general, centrifugal.

Din cele arătate rezultă că sînt în general două feluri de reostate și anume:

α) *Reostate de excitație*, întrebuințate pentru reglajul tensiunii generatoarelor și al turației motoarelor de curent continuu, conectate în circuitul de excitație al mașinilor respective.

β) *Reostate de pornire și reostate de pornire și reglaj al turației*, pentru motoarele electrice. Acestea sînt conectate în circuitul principal al mașinii respective.

Primul tip de reostate (de excitație) este, în general, de dimensiuni mici față de dimensiunile mașinii respective, deoarece puterea absorbită de aceste reostate reprezintă doar cîteva procente din puterea mașinii; cel de al doilea tip este de dimensiuni comparabile cu acelea ale mașinii, fiind conectat în circuitul principal, deci puterea absorbită este de ordinul de mărime al puterii mașinii respective.

A. Reostate pentru reglajul tensiunii și al turației prin variația excitației

2. Reostate de excitație pentru reglajul tensiunii generatoarelor de curent continuu. α) *Autoexcitație* (v. vol. II, pag. 313, 315). Acest sistem de excitație, în care curentul de excitație este produs de tensiunea proprie a mașinii, prin conectarea înfășurării circuitului de excitație direct la bornele mașinii (fig. 1), nu este posibil decît în porțiunea superioară a caracteristicii *AC* (fig. 3, *b*). În porțiunea dreaptă *OA* funcționarea este instabilă și mașina poate desamorsa dintr-o cauză cît de mică (variație de turație, reacțiunea indusului etc.). În consecință, autoexcitația nu este posibilă pentru o scară de reglaj mai mare decît de la 100 % la 60 % din tensiunea nominală; pe de altă parte, autoexcitația are avantajul de a asigura desamorsarea mașinii în caz de scurtcircuit. Turbogeneratoarele de curent continuu sînt construite cu o saturație magnetică redusă și au, în consecință, o caracteristică puțin curbată.

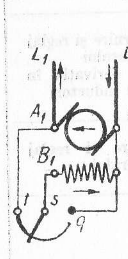


Fig. 1. — Generator cu excitație proprie, în derivație.

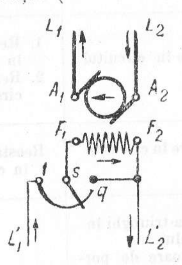


Fig. 2. — Generator cu excitație independentă (separată).

β) *Excitație separată*. În acest sistem curentul de excitație este furnizat de o sursă separată cu tensiune constantă (fig. 2 și fig. 3, *a*) și se poate obține un reglaj al tensiunii în orice limite sub valoarea normală, mergînd pînă la tensiunea de

remanență. Dacă și această tensiune trebuie suprimată, cum este, de exemplu, cazul mașinilor de extracție în sistemul generator-motor, mașina poate fi conectată în autoexcitație, prin inversarea sensului curentului din circuitul de excitație, așa cum se arată în fig. 4. În acest caz, dacă mai rămîne o tensiune redusă datorită remanenței, cînd reostatul este deconectat, această tensiune produce în înfășurarea de excitație un curent de sens contrar, care demagnetizează mașina.

Pentru a evita tensiunile ridicate care s-ar produce în momentul deconectării reostatului care se găsește în circuitul de excitație în derivație, se prevede un contact suplimentar, care pune în scurtcircuit înfășurarea de excitație după ce rezistența reostatului a fost adusă la maximum și cînd acesta urmează a fi deconectat (v. fig. 1 și 2). Acest dispozitiv este mult mai eficace decît o întrerupere directă după ce curentul de excitație ar fi fost mult micșorat printr-o rezistență foarte mare a reostatului.

Dacă în circuitul de excitație se montează un întreruptor pentru a rupe curentul de excitație, el trebuie să fie prevăzut cu un contact special, care, în momentul întreruperii, să pună înfășurarea de excitație în scurtcircuit.

În cazul cînd nu s-ar lua aceste precauții, s-ar produce supratensiuni atît de mari la întrerupere, încît s-ar putea străpunge izolația.

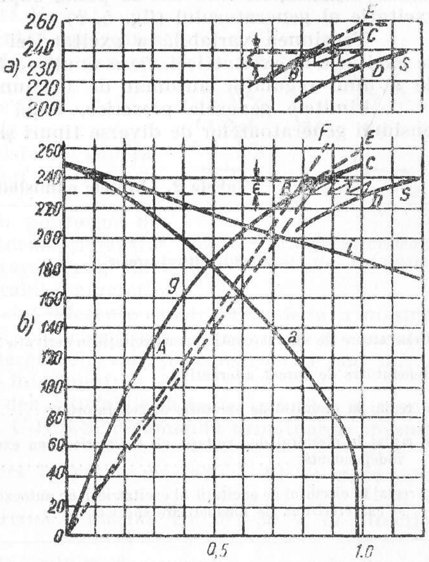


Fig. 3. — Caracteristicile generatorului cu excitație proprie (*a*) și independentă (separată) (*b*).

3. Reostate de excitație pentru reglajul tensiunii generatoarelor de curent alternativ. Generatoarele sincrone de curent alternativ au o excitație separată în curent continuu. Curentul de excitație este furnizat fie de o rețea specială, fie de o excitatrice.

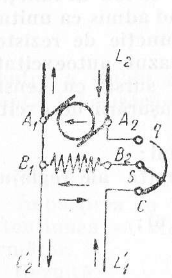


Fig. 4. — Generator cu excitație proprie comutabil pe o sursă separată.

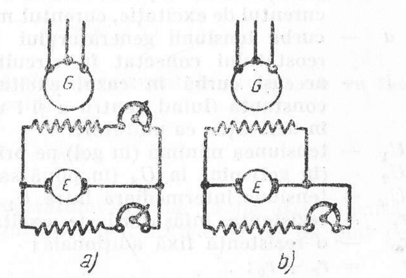


Fig. 5. — Schema excitației unui alternator trifazat: *a* — cu reostat în circuitul de excitație al alternatorului; *b* — cu reostat în circuitul excitației excitatricei.

În acest din urmă caz, excitatricea este, fie cu tensiune constantă (deobicei cu înfășurarea compund), în care caz se montează un reostat de reglaj în circuitul de excitație al generatorului (fig. 5, *a*), fie se întrebuințează o excitatrice cu tensiune variabilă, în care caz se poate suprima reostatul de reglaj din circuitul de excitație al generatorului (fig. 5, *b*).

Tensiunea variabilă a excitatricei se obține prin intercalarea în circuitul de excitație al excitatricei, fie a unui reostat cu comandă manuală sau automată, fie a unui regulator automat de tensiune.

Limitele generale prescrise, după OST, pentru variațiile procentuale ale tensiunii generatoarelor de diverse tipuri și puteri sînt indicate în tabela 2.

Tabela 2. Limitele admisibile ale variațiilor tensiunii

Felul generatoarelor	Variațiile maxime admisibile ale tensiunii generatoarelor, în % față de tensiunea nominală	
	pînă la 100 kW	peste 100 kW
Generatoare de curent continuu cu excitație în derivație.....	±2	±1
Generatoare de curent alternativ:.		
a) reglaj în circuitul de excitație al generatorului	±2	±1
b) reglaj în circuitul de excitație al excitatricei cu excitație independentă	±2	±1
c) reglaj în circuitul de excitație al excitatricei cu autoexcitație și caracteristică de magnetizare specială	±3	±2

4. Calculul reostatelor pentru generatoare de curent continuu. În cele ce urmează se dau elementele pentru calculul valorilor *rezistențelor electrice* ale reostatelor de excitație pentru generatoare de curent continu adoptindu-se următoarele notații:

g — caracteristica în gol a mașinii la rece (fig. 3, *b*);
s — caracteristica la plină sarcină a mașinii la cald (g și s se iau în funcție de curentul de excitație, curentul maxim de excitație fiind admis ca unitate);
a — curba tensiunii generatorului mergînd în gol, în funcție de rezistența reostatului conectat în circuitul excitației din cazul autoexcitației;
i — aceeași curbă în cazul excitației separate dintr-o sursă cu tensiune constantă (luînd pentru a și i rezistența totală a înfășurării de excitație în derivație, ca unitate);
U_1 — tensiunea minimă (în gol) pe primul plot al reostatului;
U_2 — (în gol) pînă la U_3 (în plină sarcină) — tensiunile limită ale reglajului;
U_x — tensiune intermediară între U_1 și U_2;
r_e — rezistența înfășurării de excitație a mașinii (fig. 6);
r_0 — o rezistență fixă adițională;
r $= r_e + r_0$;
r_1 și r_2 — valorile rezistenței reostatului de reglaj care corespund tensiunilor U_1 și U_2;
r_x — valoarea intermediară a rezistenței reostatului de reglaj, care corespunde tensiunii U_x ;
i_1, i_2, i_0 și i_x — valorile curenților de excitație care corespund la r_1, r_2, r_0, r_x sau la U_1, U_2, U_3 și U_x (v. fig. 7).

În cazul mașinilor de curent continuu se renunță, în general, la ploturile corespunzînd tensiunilor reduse și se ia $U_1 = U_2$, cu condiția ca să nu rezulte un arc de întrerupere important.

Pentru domeniul de reglaj $U_2 - U_3$ se consideră următoarele cazuri:

1) generatoare cu tensiune constantă $U_2 = U_3 = U$;

2) generatoarele întrebuințate pentru încărcarea acumulatoarelor; în acest caz se ia, în general, $U_3 = 1{,}36\ U_2$;

3) supravoltoarele, pentru care se ia de cele mai multe ori, domeniul de reglaj $U_3 = 5U_2$;

4) generatoarele întrebuințate în sistemul generator-motor, care au un domeniu de reglaj mergînd de la U_3 pînă la zero.

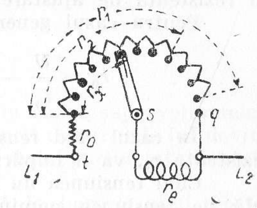


Fig. 6. — Schema electrică a unui reostat de exictație.

Curbele caracteristice ridicate la o platformă de încercări sînt curbe pentru o funcționare ideală și pentru o mașină bine determinată. În exploatare, însă, sînt diverși factori care influențează defavorabil caracteristicile, iar la mașinile fabricate în serie sînt diferențe constructive de la o mașină la alta, care, de asemenea, influențează caracteristicile. Acestea sînt: variația turației motorului care antrenează generatorul, variații constructive ale întrefierului, diferențe de calitate ale tolelor întrebuințate etc.

Pentru a construi reostate care să dea satisfacție în toate cazurile, în urma unei lungi experiențe, uzinele HEMZ din U.R.S.S. recomandă următoarele măsuri care trebuie luate în calcul:

— deplasarea caracteristicii de mers în gol a mașinii cu 12 % în sus, în direcția axei ordonatelor;

— deplasarea caracteristicii de sarcină a mașinii cu 20—30 % în direcția axei absciselor către origine.

În acest mod se reduce curentul minim de excitație și se mărește cel maxim, astfel încît reostatul va putea da rezultate la toate condițiile care au influențe favorabile sau defavorabile asupra caracteristicilor unei mașini oarecare.

De asemenea va trebui să se țină seamă de variația rezistenței înfășurării polilor inductori prin încălzire. Pentru aceasta se va lua rezistența înfășurării polilor inductori la rece spre a stabili rezistența maximă a reostatului:

$$r_1 + r_0 = \frac{U}{i_{min}} - r_e \text{ rece},$$

iar pentru a stabili rezistența fixă care rămîne permanent în circuit, se va lua rezistența înfășurării polilor inductori la cald:

$$r_0 = \frac{U}{i_{max}} - r_e \text{ cald}.$$

Împărțirea în trepte a rezistenței reostatului trebuie să fie astfel făcută, încît tensiunea să crească cu o aceeași cantitate, la trecerea de pe un plot pe cel următor.

Rezultă:

$$r_0 = \frac{U_3}{i_0} - r_e, \quad r_x = \frac{U_x}{i_x} - r,$$

$$r_1 = \frac{U_1}{i_1} - r, \quad r_2 = \frac{U_2}{i_2} - r.$$

După cum se vede din fig. 3, *b*, curbele *g* și *i* diferă foarte puțin de segmente de dreaptă în porțiunea utilizată a caracteristicii (230—240, v. în fig. 3, *a*), încît este admisibil a împărți rezistența în trepte de egală valoare ohmică. Rezistența r_0 poate să fie dispusă, fie ca rezistență fixă în cuprinsul reostatului, fie separat ca rezistență de ajustare.

Pentru cazul generatoarelor cu tensiune constantă, va rezulta:

$$r_0 = \frac{U}{i_0} - r_e\ ;\quad r_1 = \frac{U}{i_1} - (r_0 + r_e) = U\left(\frac{1}{i_1} - \frac{1}{i_0}\right).$$

În cazul cînd reostatul va avea *n* trepte de reglaj adică $n+1$ ploturi, rezistența r_1, va fi împărțită în *n* părți egale.

Cînd tensiunea nu trebuie să aibă în sarcină variații mai mari de ε volți față de tensiunea nominală *U*, în cazul excitației separate numărul treptelor rezistenței, conform fig. 3, *a*, trebuie să fie aproximativ:

$$n = \frac{DE}{\varepsilon}$$

În cazul autoexcitației, numărul treptelor rezistenței n' va fi, conform fig. 3,

$$n' = \frac{DE}{\varepsilon} \cdot \frac{DF}{EF} = \frac{DE}{\varepsilon} \cdot \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta},$$

în care $\overline{DE}$ trebuie să fie măsurată în volți, iar $\alpha = \sphericalangle DBF$ și $\beta = \sphericalangle DBE$.

Liniile frînte în zig-zag din fig. 3 dau variațiile maxime de tensiune cu patru respectiv trei trepte de rezistență în circuit. Dacă în exemplul reprezentat în această figură, ε trebuie să fie egal cu 1 % din tensiunea nominală de $E = 230$ V, numărul de trepte trebuie să fie calculat ca mai jos:

în cazul excitației separate: $n = \dfrac{26\,[V]}{2{,}3\,[V]} = 11{,}3 \sim 12$;

în cazul autoexcitației: $n' = \dfrac{26\,[V]}{2{,}3\,[V]} \cdot \dfrac{68}{38} = 20{,}2 \sim 21.$

Numărul obișnuit de trepte pentru o putere consumată în excitație $\dfrac{U^2}{r}$ va fi:

Puterea excitatricei $\frac{U^2}{r}$	Tipul generatorului	Numărul de trepte
pînă la 4,5 kW	Generatoare normale cu tensiune constantă	20—30
peste 4,5 kW	Generatoare normale cu tensiune constantă	40
toate puterile	Turbogeneratoare cu tensiune constantă	50
pînă la 1,3 kW	Generatoare pentru încărcarea acumulatoarelor	30
peste 1,3 kW	Generatoare pentru încărcarea acumulatoarelor	40

Valoarea aproximativă a rezistenței reostatului este:
— pentru generatoarele cu tensiune constantă:

$$r_1 = r_2 = 1{,}5\,r;$$

— pentru generatoarele de încărcat acumulatoarele avînd $U_3 = 1{,}36\ U_2$:

$$r_1 = r_2 = 2{,}5\,r;$$

— pentru supravoltoare cu $U_3 = 5\ U_2$:

$$r_1 = r_2 = 10\,r$$

(această din urmă valoare poate varia foarte mult).

În cazul unui domeniu mare de reglaj, în special în cazul supravoltoarelor, reostatul ar trebui să aibă dimensiuni foarte mari, astfel încît construcția lui devine anevoioasă. În acest caz se întrebuințează dispoziția cu reglaj parțial reprezentată în fig. 7 și în care se obțin pierderi mai mici de energie.

În acest montaj, tensiunea rețelei este aplicată la bornele unui reostat de rezistență fixă βr_e, iar înfășurarea polilor inductori este legată în derivație la bornele porțiunii reglabile $\alpha\,(\beta r_e)$ a reostatului și deci este supusă unei fracțiuni din tensiunea rețelei; α și β sînt valori numerice, α fiind variabilă după relația: $0 < \alpha < 1$.

Dacă *i* este curentul de excitație, i_1 — curentul în reostat și i_2 — curentul total, pierderea maximă de curent prin reostat este:

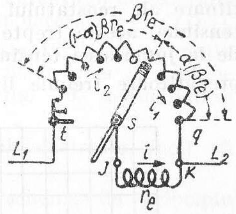


Fig. 7. — Schema electrică a unui reostat de excitație cu reglaj parțial.

$$i_{1\,max} = \frac{U}{\beta r_e} = \frac{i_{max}}{\beta}.$$

Pentru:

$$\frac{\beta}{i_{1\,max}} = \frac{1}{i_{max}} \quad \frac{5}{0{,}2\,i_{max}} \quad \frac{10}{0{,}1\,i_{max}}.$$

Dacă se ia pentru β un număr destul de mare, pierderea de energie va fi mică, dar rezultă o valoare mare a rezistenței reostatului βr_e.

O valoare convenabilă este $\beta = 5$.

Rezultă mai departe:

$$i_1 = \frac{U}{\beta r_e} \cdot \frac{1}{1 + (\alpha - \alpha)^2\,\beta}\ ; \tag{4.1}$$

$$i_2 = i + i_1 = \frac{U}{\beta r_e} \cdot \frac{1 + \alpha\beta}{1 + (\alpha - \alpha)^2\,\beta}\ ; \tag{4.2}$$

$$i = \frac{U}{r_e} \cdot \frac{\alpha}{1 + (\alpha - \alpha^2)\,\beta}\ ; \tag{4.3}$$

$$\alpha = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{U}{\beta i r_e}\right) \overset{+}{(-)} \sqrt{\frac{1}{4}\left(1 - \frac{U}{\beta i r_e}\right)^2 + \frac{1}{\beta}}\ . \tag{4.4}$$

Utilizînd ecuația (4.4) se poate calcula pentru fiecare valoare a curentului *i* valoarea corespondentă a coeficientului α, trasîndu-se apoi curba curentului în

funcţie de α. În fig. 8 este reprezentată această construcţie pentru trei valori ale coeficientului β şi anume: β = 1, β = 5 şi β = 10, astfel încît se pot deduce valorile corespunzătoare ale cantităţilor α, i, i_1 şi i_2. Curbele au fost trasate pentru $\frac{U}{r_e} = 1$ şi deci ordonatele măsurate trebuie multiplicate cu $\frac{U}{r_e}$, iar intensităţile i, i_1 şi i_2 se înmulţesc cu $\frac{r_e}{U}$. Curbele pentru β = 1 sînt trasate punctat, cele pentru β = 5 cu linii pline, iar cele pentru β = 10 cu linii întrerupte.

Treptele de rezistenţă ale reostatului trebuie astfel calculate, încît să suporte curentul i_2. În acest montaj nu mai este necesar un contact de scurtcircuit pentru înfăşurarea de excitaţie; în schimb este necesar a avea un întreruptor care în poziţia zero să deconecteze rezistenţa βr_e din circuitul reţelei.

5. Calculul reostatelor pentru generatoare de curent alternativ. În cazul generatoarelor de curent alternativ nu se pot suprima totdeauna treptele pregătitoare ale reostatului de excitaţie. În special în cazul generatoarelor de înaltă tensiune, aceste trepte sînt necesare pentru a încărca reţeaua în mod progresiv de la jumătatea tensiunii pînă la tensiunea nominală U_n. Numărul de trepte pregătitoare trebuie limitat la minimum; se iau, în general, cinci trepte între

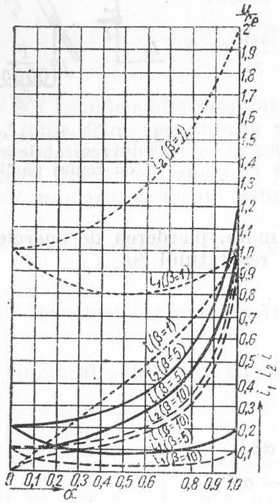


Fig. 8. — Diagrama curentului de excitaţie în funcţie de procentul de reglaj α la reostatul de excitaţie cu reglaj parţial.

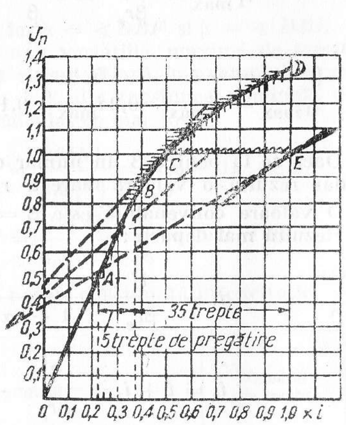


Fig. 9. — Caracteristicile unui alternator cu trepte pregătitoare în excitaţie.

punctele A şi B ale caracteristicii din fig. 9, în cazul cînd se ia un total de 40 trepte, ceea ce este un număr curent întrebuinţat. Este convenabil ca reglajul precis să înceapă la 80 % din tensiunea reţelei în gol.

Dacă excitaţia este produsă de o excitatrice serie, trebuie scăzută din valorile caracteristicii tensiunea la bornele excitatricei serie şi tensiunea la bornele înfăşurării circuitului de excitaţie a generatorului, pentru valorile maximă şi minimă — ale curentului de excitaţie a generatorului. Diferenţa de tensiune astfel obţinută,

împărţită cu valoarea curentului respectiv, dă rezistenţa reostatului de reglaj care va absorbi restul tensiunii.

Şi în acest caz rezistenţa se poate împărţi în trepte egale în intervalul reglajului precis.

6. Reostate pentru reglajul turaţiei motoarelor de curent continuu derivaţie. (v. vol. II, pag. 365—370, § 49). Turaţia motoarelor derivaţie poate să fie variată prin modificarea cîmpului inductor.

Motoarele normale suportă în cele mai multe cazuri, fără modificări, o mărire de turaţie de 15 %. Pentru măriri de turaţie de 100 % sau 200 %, adică la un reglaj de 1 : 2, respectiv 1 : 3, motoarele sînt de cele mai multe ori prevăzute cu poli auxiliari.

Reostatele de cîmp pentru aceste motoare se calculează, în general, astfel încît la trecerea de pe un plot pe cel următor, turaţia să crească cu valori egale.

În fig. 10 sînt reprezentate caracteristicile unui motor cu un domeniu de reglaj al turaţiei de la 1 la 3 ori viteza nominală, — curba curentului de excitaţie $i_x = f(n_x)$ şi curba valorilor corespunzătoare ale rezistenţei necesare $r_x = f(n_x)$. Se vede că pentru turaţia $3n$ (maximă) este necesară o rezistenţă de aproximativ $5r$. În cazul cînd reostatul ar avea 10 trepte, segmentul de la n la $3n$ trebuie împărţit în zece părţi egale, aşa cum este arătat în fig. 10, deducîndu-se valorile r_x.

Reostatele motoarelor derivaţie trebuie să fie astfel construite, încît să nu întrerupă niciodată circuitul.

7. Reostate pentru grupuri generator-motor. În schema de principiu a unui grup generator-motor (fig. 11) M_s reprezintă motorul de antrenare al sarcinii; G — generatorul cu reostatul de reglaj R; M_G — motorul de antrenare al generatorului.

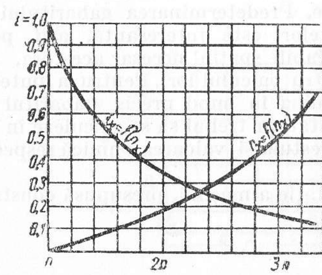


Fig. 10. — Caracteristica curentului de excitaţie şi rezistenţa necesară, în funcţie de viteză la un motor derivaţie de curent continuu.

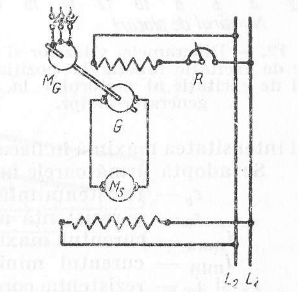


Fig. 11. — Schema electrică a unui grup generator-motor.

Conform condiţiilor de exploatare respective, reostatul de reglaj se calculează, de la caz la caz, fie pentru ca raportul a două viteze consecutive să fie constant, fie pentru ca viteza să varieze cu valori egale, cînd se trece de pe un plot pe cel următor.

În general, primul tip de reostat se întrebuinţează pentru maşinile-unelte, pe cînd al doilea este întrebuinţat la maşinile de extracţie, care se construiesc

pentru o accelerație constantă, atunci cînd maneta reostatului este manevrată cu o viteză constantă. În primul caz se obține:

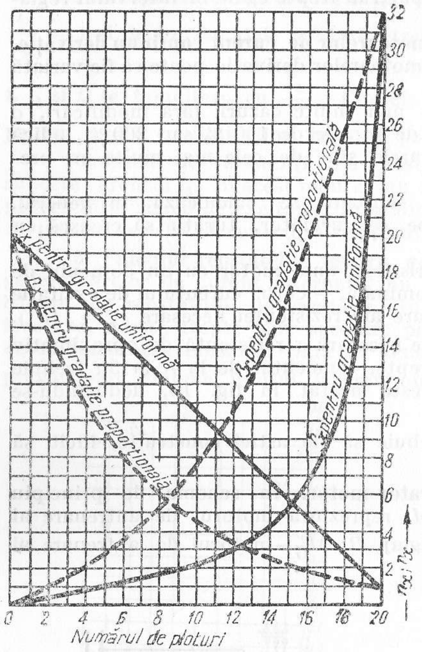


Fig. 12. — Diagramele vitezelor și rezistențelor de excitație funcție de poziția reostatului de excitație al motorului la un grup generator-motor.

$$\frac{n}{n_1} = \frac{n_2}{n_3} = \frac{n_4}{n_5} = \ldots;$$

$$n_2 = qn_1;$$

$$n_3 = qn_2 = q^2 n_1;$$

$$n_{max} = q^m n_{min},$$

în care: q este factorul de proporționalitate;

m — numărul treptelor de rezistență.

În fig. 12 s-au reprezentat curbele caracteristice ale turației n_x și ale rezistenței r_x, în funcție de numărul de ploturi, pentru cele două tipuri de reostate, pentru un număr de 20 ploturi și pentru un reglaj al turației de 5 : 100, rezistența r_x fiind exprimată ca multiplu al rezistenței circuitului inductor.

Pentru pornirea și reglajul turației acestor grupuri trebuie să se ia în considerație condițiile specifice de funcționare în fiecare caz, acestea traducindu-se în calcul sub forma unei serii de parametri¹).

8. **Gabaritul reostatelor de excitație.** Predeterminarea gabaritului reostatelor este interesantă, atît pentru a stabili spațiul necesar acestora, cît și pentru calculul lor. Pentru a putea determina în mod precis gabaritul unui reostat, ar trebui să se calculeze în prealabil intensitatea maximă în fiecare treaptă a acestuia și valoarea ohmică respectivă.

Se adoptă următoarele notații (fig. 13):

r_e — rezistența înfășurării de excitație a mașinii, presupusă constantă;
r_0 — o rezistență adițională fixă;
i_{max} — curentul maxim în reostat;
i_{min} — curentul minim în reostat;
r_r și i_x — rezistența corespunzînd plotului x și intensitatea curentului în aceasta; $r = r_e + r_0$ va fi luată ca unitate de măsură pentru scara absciselor și $i_{max} = \frac{U}{r}$, respectiv $i_{max}^2 = \left(\frac{U}{r}\right)^2$ vor fi luate ca unități pentru scara ordonatelor aceleiași diagrame.

¹) Pentru calculul desvoltat și determinarea parametrilor se vor consulta:
V. P. Bîcikov, *Teoria i metod rasceta sistemî gheneratorov-dvigatel s elektromașinîm reguleatorom*, Elektricestvo 2/1950.
S. Z.: Barki *Analiz schem elektroprivoda s padaiușcei harakteristikoi*, Elektricestvo 5/1950.
F. N Șclearski *Fizico-Mehaniceskie osnovî elektriceskogo rudnicinogo podioma*, Moskva-Leningrad, Ugletehizdat, 1952.

În fig. 13 s-au reprezentat două curbe și anume:

$$\frac{i_x}{i_{max}} = f(r_x) \quad \text{și} \quad \left(\frac{i_x}{i_{max}}\right)^2 = f(r_x).$$

În consecință, ordonatele citite vor trebui înmulțite cu i_{max}, respectiv cu i_{max}^2.

Se observă că:

$$i_x = \frac{U}{r + r_x} = \frac{i_{max}}{1 + \frac{r_x}{r}},$$

de unde:

$$i_x (r + r_x) = U,$$

ceea ce reprezintă o hiperbolă echilateră.

Puterea absorbită într-o rezistență dr_x este:

$$i_x^2 \, dr_x = U^2 \frac{dr_x}{(r + r_x)^2}.$$

Suma P_r a puterilor maxime consumate de toate rezistențele este reprezentată de suprafața $OAQEF \times \frac{U^2}{r}$ (fig. 13):

$$P_r = U^2 \int_0^{r_1} \frac{dr_x}{(r + r_x)^2} = U^2 \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r + r_1}\right) = U^2 \frac{r_1}{r(r + r_1)};$$

$$P_r = i_{max} \, i_{min} \, r_1.$$

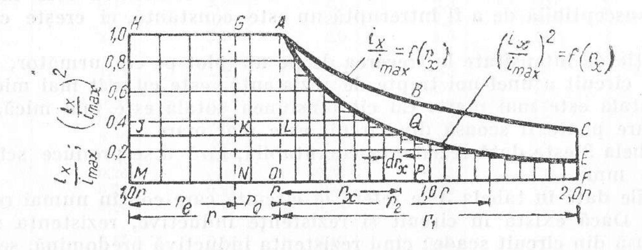


Fig. 13. — Diagrama raportului între curentul de excitație și valoarea maximă a acestuia, funcție de rezistența de excitație.

Dacă se notează:

$$i_{min} = \gamma i_{max}, \text{ în care } 0 < \gamma < 1,$$

$$r = \frac{U}{i_{max}}; \quad r_1 = \frac{U}{i_{min}} - r = \frac{U^2}{i_{max}}\left(\frac{1}{\gamma} - 1\right),$$

rezultă:

$$P_r = i_{max} \, i_{min} \, r_1 = U \, i_{max} (1 - \gamma).$$

P_r este deci totdeauna mai mic decît consumul maxim de putere Ui_{max} în înfăşurarea excitaţiei.

Admiţînd că volumul necesar pentru a disipa 1 W este totdeauna acelaşi, chiar în cazul cînd intensităţile sînt diferite, gabaritul reostatului va fi astfel ales, încît să poată disipa în mod permanent puterea:

$$P_r = Ui_{max}(1 - \gamma).$$

Dacă rezistenţa fixă r_0 este cuprinsă în reostat, valoarea P_r de mai sus creşte cu cantitatea:

$$P_0 = i_{max}^2 r_0$$

şi puterea totală devine:

$$P = P_r + P_0 = i_{max} i_{min} r_1 + i_{max}^2 r_0 .$$

În realitate nu toate rezistenţele sînt solicitate simultan la intensitatea lor maximă. Cînd maneta este aşezată, de exemplu, pe plotul x, puterile absorbite vor fi:

în r_e, reprezentată de suprafaţa $MJKN$;
în r_0, reprezentată de suprafaţa $NKLO$;
în r_x, reprezentată de suprafaţa $OLQP$.

Cînd $r_x = r$, puterea maximă disipată de reostat va fi egală cu $\frac{1}{4} Ui_{max}$.

9. **Puterea de rupere a reostatelor de excitaţie.** În calculul reostatelor trebuie să se ţină seamă de producerea arcurilor sau scînteilor la trecerea manetei de pe un plot pe altul. Deobicei, întrucît maneta se deplasează pe ploturi este manevrată de la distanţă şi cu o mişcare lentă, fără a se putea avea un control vizual direct asupra deplasării acesteia, se poate admite formarea de scîntei foarte mici, de circa 0,5 mm lungime.

Rezistenţa întreruptă este mai mare cînd intensitatea este mai mică, iar puterea susceptibilă de a fi întreruptă nu este constantă, ci creşte cu intensitatea.

Variaţia de intensitate la trecerea de pe un plot pe cel următor, datorită scoaterii din circuit a unei noi trepte de rezistenţă, este cu atît mai mică cu cît tensiunea totală este mai mare. Cu cît tensiunea totală este mai mică, cu atît rezistenţa care poate fi scoasă din circuit este mai mare.

În tabela 3 este dată rezistenţa comutabilă, fără a se produce scîntei mai mari de 0,5 mm.

Valorile date în tabela 3 se referă la circuite care conţin numai rezistenţe neinductive. Dacă există în circuit şi rezistenţe inductive, rezistenţa susceptibilă a fi scoasă din circuit scade; cînd rezistenţa inductivă predomină, se apropie de valorile corespunzătoare la $U = \infty$, deoarece inducţia proprie are un efect asemenea unei tensiuni infinit mare, avînd tendinţa de a menţine curentul constant.

Dacă mişcarea manetei este foarte rapidă şi dacă sarcina este inductivă, scăderea curentului poate rămîne în urma mişcării propriuzise a manetei. În acest caz, rezistenţa comutabilă nu trebuie calculată corespunzător curentului ce ar circula prin circuit, dacă maneta ar sta în mod prelungit pe plotul respectiv, ci pe baza unui curent mai mare.

Cînd maneta de contact trece la poziţia zero, curentul trebuie să fie întrerupt, iar înfăşurarea de excitaţie trebuie să fie pusă în scurtcircuit; se poate totuşi admite, în acest caz, o scînteie mai mare, mergînd pînă la maximum 5 mm lungime.

Intensitatea curentului susceptibilă a fi întreruptă, în ipoteza cea mai defavorabilă (cînd scînteia este dirijată vertical), are următoarele valori:

pentru:	110	220	440	550	V
	4,2	1,1	0,6	0,4	A.

Tabela 3. Rezistenţa comutabilă şi puterea de rupere a reostatelor

Curent continuu A	Rezistenţa, în Ω, care poate fi întreruptă la U =				La $U = \infty$ V	
	110 V	220 V	440 V	∞ V	Tensiunea care poate fi întreruptă V	Puterea W
0,1	peste 2 000	peste 2 000	peste 2 000	1 730	173	17
0,2	peste 2 000	1 390	880	640	123	26
0,3	peste 2 000	620	450	335	100	30
0,4	750	335	265	210	84	34
0,5	420	220	180	144	72	36
0,6	250	150	125	106	64	38
0,7	183	116	98	84	59	41
0,8	140	94	80	70	56	45
0,9	108	77	66	59	53	47
1,0	89	66	56	49	49	49
1,2	63	48	41	36	43	52
1,4	48	37	33	29	40	56
1,6	38	29	27	23	38	60
1,8	30	24	22	20	36	65
2,0	24	21	18	17	34	68
3,0	12,5	10,8	10,1	9,5	29	86
4,0	8,1	7,1	6,7	6,3	25	100
5,0	6,0	5,2	4,9	4,6	23	115
6,0	4,6	4,1	3,9	3,7	22	133
7,0	3,8	3,4	3,2	3,0	21	147
8,0	3,1	2,8	2,7	2,5	20	160
9,0	2,7	2,4	2,3	2,2	20	178
10,0	2,3	2,1	2,0	1,9	19	190
20	1,01	1,00	0,90	0,88	18	350
30	0,69	0,65	0,60	0,57	17	510
40	0,52	0,49	0,46	0,43	17	690
50	0,42	0,39	0,37	0,35	17	880
60	0,35	0,32	0,30	0,29	17	1 040
70	0,30	0,28	0,26	0,25	17	1 220
80	0,26	0,24	0,23	0,22	17	1 410
90	0,23	0,21	0,20	0,19	17	1 540
100	0,20	0,19	0,18	0,17	17	1 700
120	0,17	0,16	0,15	0,14	17	2 020
140	0,14	0,13	0,13	0,12	17	2 370
160	0,13	0,12	0,11	0,11	17	2 640
180	0,11	0,10	0,10	0,10	17	3 000

Dacă intensitatea este mai mare, se obişnueşte a se înlocui penultimul plot de alamă cu un plot de fier avînd înfăşurată pe el o bobină de suflaj, ansamblu cu circuit magnetic deschis, aşa cum este arătat în fig. 14.

Prin acest dispozitiv se pot întrerupe următoarele intensităţi:

pentru:	110	220	440	550	V
	12,2	6,1	1,1	0,5	A.

Dacă intensitatea este şi mai mare, se obişnuieşte a se produce scînteile înafara ploturilor, prin intermediul unui contactor special (fig. 15). Pentru a se da posibilitate contactorului să aibă timp de a funcţiona, mişcarea manetei de contact este încetinită atunci cînd se ajunge pe plotul de deconectare.

Deasemenea se poate prevedea un întreruptor special comandat de maneta de contact, cînd aceasta ajunge la sfîrşitul cursei.

10. **Întreruperea circuitelor de excitaţie avînd rezistenţe inductive.** Întreruptoarele care se găsesc în circuitul înfăşurării de excitaţie trebuie să fie astfel

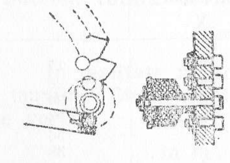


Fig. 14. — Contact de scurtcircuitare a excitaţiei cu suflaj magnetic.

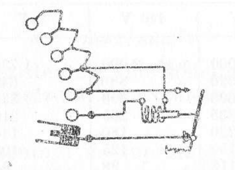


Fig. 15. — Contact final al excitaţiei cu contactor electromagnetic.

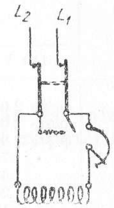


Fig. 16. — Schema întreruperii circuitului de excitaţie al unei maşini rotative.

construite, ca atunci cînd curentul de excitaţie se întrerupe, să se conecteze circuitul inductor pe o rezistenţă neinductivă, în paralel cu inductorul. În acest mod, extracurentul de inducţie din circuitul de excitaţie se poate scurge treptat prin această rezistenţă (fig. 16).

Dacă U este tensiunea de excitaţie, r_e rezistenţa înfăşurării, $i = \frac{U}{r_e}$ curentul înainte de întrerupere, βr_e rezistenţa neinductivă în paralel (în general se ia $\beta > 1$), tensiunea la bornele rezistenţei, deci şi cea la bornele înfăşurării imediat după întrerupere, va fi $-\beta r_e\, i = -\beta U$, presupunînd că întreruperea se face fără scîntei.

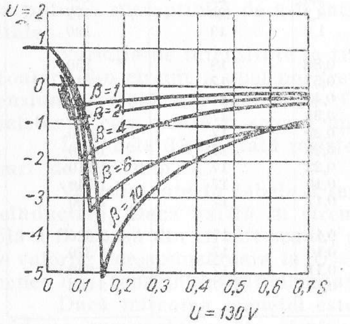


Fig. 17. — Curbele de variaţie ale tensiunii în funcţie de timp la întreruperea circuitului de excitaţie.

Polaritatea bornelor se schimbă, deoarece înainte de întrerupere rezistenţa inductivă absoarbe tensiune, iar după întrerupere ea desvoltă o oarecare tensiune, care este proporţională cu coeficientul de inducţie proprie al rezistenţei. Tensiunile datorite autoinducţiei sînt apreciabil inferioare celor calculate ca mai sus, din cauza micşorării curentului, datorită scînteilor pe de o parte, iar pe de alta curenţilor turbionari (Foucault) în fier şi care se opun unei variaţii brusce a liniilor de forţă.

Oscilogramele au arătat că tensiunea reală care se naşte în aceaste condiţii nu este decît jumătate din cea indicată mai sus, deci $\frac{1}{2}U$. Cu o rezistenţă în paralel de valoarea dublă a rezistenţei înfăsurării de excitaţie ($\beta = 2$), tensiunea inductivă va fi deci tocmai U. În fig. 17 sînt trasate

curbele tensiunii în funcţie de timpul scurs după întrerupere pentru diverse valori ale rezistenţei în paralel ($\beta = 1, 2, 4, 6$ şi 10).

Aceste rezultate au fost obţinute întrerupînd înfăşurarea de excitaţie derivaţie a unei maşini de curent continu de aproximativ 200 kW cu 450 rot/min. Tensiunea schimbă de sens şi aproximativ după 0,1 s atinge maximul, pentru ca să dispară apoi cu încetul.

Dacă în locul întreruptorului special, descris mai sus, se montează un întreruptor obişnuit, trebuie să se conecteze permanent în paralel cu circuitul de excitaţie o rezistenţă; în acest caz, rezultă însă o pierdere de energie datorită curentului ce trece prin aceasta în regim permanent. În acest caz, se dau coeficientului β valori cuprinse între 5 şi 10, dacă izolaţia maşinii suportă supratensiunile rezultate în momentul întreruperii.

11. **Diverse tipuri de reostate de excitaţie.** Se disting următoarele tipuri:

— Reostat simplu cu contact de scurtcircuit (fig. 6).

— Reostat pentru domeniu mare de reglaj (fig. 7).

— Reostat cu reglaj fin şi grosier (fig. 18).

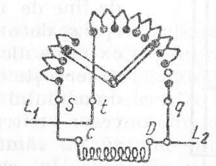


Fig. 18. — Reostat de excitaţie cu reglaj fin şi grosier.

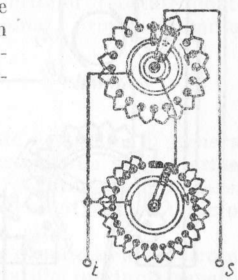


Fig. 19. — Reostat de excitaţie potenţiometric pentru reglaj fin.

Dacă numărul de trepte permiţînd un reglaj grosier este de 20 şi numărul de trepte permiţînd un reglaj fin este de 6, reostatul avînd deci 21 şi 7 ploturi (fig. 18), se alege valoarea unei trepte din prima serie egală cu de şapte ori valoarea unei trepte din porţiunea de reglaj fin.

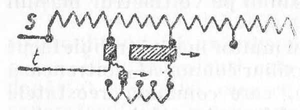


Fig. 20. — Schema de principiu a reostatului de excitaţie potenţiometric pentru reglaj fin.

În acest fel se va dispune de $6 \cdot 20 = 120$ trepte de reglaj.

Reostat potenţiometric, analog celui precedent (fig. 19 şi 20).

Aici rezistenţa seriei a doua de trepte din partea inferioară a fig. 20, este conectată în paralel cu rezistenţa primei serii de trepte figurate în partea superioară, şi cele două manete sînt cuplate printr-un dispozitiv, care, după o rotaţie completă a manetei de jos, face să avanseze brusc cu un pas maneta de sus. Dacă prima serie are 20 de trepte şi a doua 30 de trepte, vor fi în total 600 poziţii de reglaj.

Reostatele potenţiometrice nu convin în general decît pentru o gradaţie uniformă a rezistenţei.

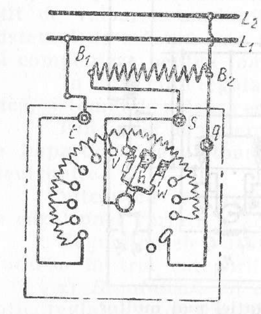


Fig. 21. — Reostat de excitaţie cu perii multiple.

Pentru a se dubla numărul de trepte de reglaj se întrebuinţează şi sistemul arătat în fig. 21. În acesta, peria principală este *h*; dar pe aceeaşi manetă mai sînt montate două perii şi anume: peria *v*, montată înaintea periei principale, este mai îngustă decît spaţiul dintre două ploturi, şi a doua perie *w*, montată înapoia periei principale.

Aceste două perii auxiliare pun în paralel cele două trepte de rezistenţă care se găsesc de o parte şi de alta a plotului pe care se găseşte peria principală *h*, iar în timpul mişcării manetei, peria principală, face contact cu plotul următor înainte ca peria auxiliară *v* să-l fi părăsit.

12. **Comanda electrică la distanţă a reostatelor de excitaţie.** În marile centrale electrice este avantajos a se instala reostatele de excitaţie la distanţă mai mare de tablourile de distribuţie şi comandă, de exemplu în apropierea generatoarelor, ceeace simplifică conductele de legătură. În acest caz, se întrebuinţează pentru diversele maşini reostate acţionate individual prin motoare auxiliare, comandate de la tabloul principal prin butoane, aşa cum se arată în schema din fig. 22. Se întrebuinţează în general trei butoane: unul pentru « tensiunea creşte » d_1 unul pentru « tensiunea scade » d_2 şi al treilea pentru « deconectare » d_3. De asemenea sînt prevăzute şi trei întreruptoare de fine de cursă: două din aceste întreruptoare e_1 şi e_2 deconectează motorul auxiliar în poziţiile extreme ale reostatului, iar al treilea întreruptor e_3 serveşte ca fine de cursă la limita inferioară a domeniului de reglaj. Acesta din urmă este necesar pentru a evita ca, prin neatenţie, excitaţia să nu rămînă deconectată.

În cazul cînd deconectarea se face manual, butonul d_3 şi întreruptorul de fine de cursă e_3 nu mai sînt necesare.

Mişcarea motorului auxiliar şi, deci, a manetei reostatului durează atît timp cît butonul este apăsat, şi în tot acest timp trebuie să se observe variaţiile tensiunii pe voltmetrul maşinii respective.

Dacă reglajul mai multor maşini trebuie făcut simultan, un motor auxiliar comun M_a antrenează o transmisie (fig. 23), care comandă reostatele deobicei prin şurub fără fine şi cuplaje mecanice.

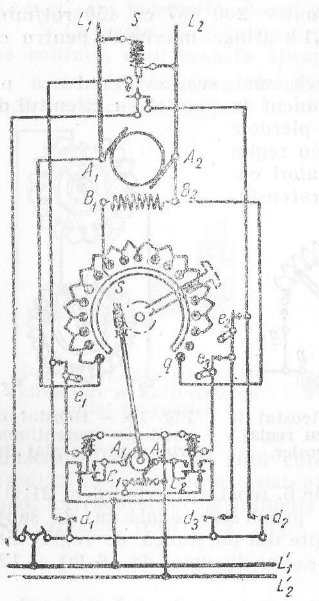


Fig. 22. – Reostat de excitaţie cu acţionare prin servomotor.

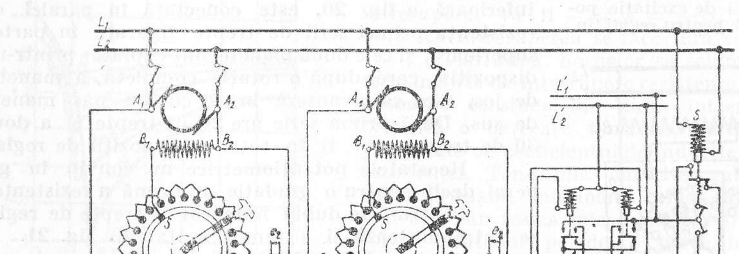


Fig. 23. – Acţionare comună prin servomotor a excitaţiei mai multor generatoare de curent continuu în paralel.

Cuplajul mecanic serveşte ca ambreiaj sau debreiaj pentru fiecare reostat în momentul scoaterii acestuia din serviciu, sau la reglajul precis manual înainte

de a cupla maşina în paralel pe reţea. Întreruptoarele de fine de cursă e_2 spre dreapta şi e_1 spre stînga, ale diverselor reostate, sînt conectate în serie. Cînd un reostat este scos din circuit, fiind adus manual pe poziţia finală, întreruptorul de fine de cursă respectiv este închis, astfel încît comanda celorlalte reostate să nu fie perturbată.

Scoaterea completă din circuit a unui reostat nu trebuie să fie posibilă decît dacă se manevrează simultan şi debreiajul respectiv.

Aceste comenzi individuale sau pe grupe sînt adeseori conectate şi la un releu de tensiune S (fig. 22 şi 23), astfel încît reglajul diferitelor reostate poate fi făcut fie prin întreruptoarele manuale d_1, d_2, fie automat, prin intermediul releului de tensiune S.

B. Regulatoare automate

13. **Generalităţi.** Regulatoarele automate sînt aparate destinate, în general a menţine constantă tensiunea generatoarelor fără supravegherea sau intermediul vreunui operator. Se construiesc însă uneori regulatoare automate în vederea asigurării unui reglaj automat al altor valori electrice (curent, putere, factor de putere, frecvenţă etc.) sau mecanice (viteza motoarelor etc.).

În principiu, un regulator automat se compune din următoarele elemente:

— un element sensibil, care este influenţat de variaţiile tensiunii generatorului respectiv, numit sistem de măsură, deoarece este elementul care măsoară această mărime. Prin acţiunea sa, sistemul de măsură comandă în mod automat restul elementelor regulatorului în vederea readucerii tensiunii la o valoare constantă predeterminată;

— un dispozitiv de acţionare asupra curentului de excitaţie al generatorului a cărui modificare are ca rezultat menţinerea tensiunii la valoarea predeterminată;

— o serie de dispozitive mecanice sau electrice care transmit comanda sistemului de măsură, dispozitivului de acţionare asupra excitaţiei generatorului.

În unele cazuri este necesar ca tensiunea să fie menţinută într-un punct depărtat al reţelei, ceea ce determină necesitatea creşterii sau scăderii tensiunii generatorului pe măsura variaţii respective a sarcinii, realizîndu-se astfel o compensare a pierderii de tensiune pe reţea pînă în punctul considerat. Regulatoarele automate permit acest mod de reglaj, fără intermediul firelor pilot, printr-un compundaj al sistemului de măsură. În acest caz sistemul de măsură este influenţat atît de valoarea tensiunii, cît şi de valoarea curentului debitat de generator. Sistemul de măsură este astfel construit pentru ca influenţa curentului debitat să compenseze pentru toate valorile acestuia, căderea de tensiune pe reţea.

În cazul cînd regulatorul menţine constantă o altă valoare electrică sau mecanică, sistemul de măsură este influenţat de această valoare, acţionînd în consecinţă.

Din punct de vedere al principiului de funcţionare, regulatoarele automate se împart în: regulatoare automate electromagnetice şi regulatoare automate electronice.

Viteza cu care regulatorul readuce tensiunea la valoarea predeterminată, în cazul unei variaţii a acesteia, se numeşte viteza de reglaj.

Regulatoarele automate se clasifică deobicei după viteza de reglaj, împărţindu-se în trei categorii:

α) *Regulatoare cu acţiune înceată.* Acestea realizează numai în mod asimptotic reglajul excitaţiei, graţie nerţiei magnetice (inducţie proprie) a circuitului de excitaţie. Acţiunea lor trebuie să fie relativ înceată, pentru ca poziţia de reglaj să nu fie depăşită şi pentru a se evita mişcarea pendulară.

β) *Regulatoare cu acţiune accelerată*, care permit o viteză de reglai mai mare prin-un dispozitiv de aservire elastică (blocaj de poziţie) a releului de regaj.

γ) *Regulatoare cu acțiune rapidă.* Acestea compensează inerția magnetică a înfășurării excitației printr-o puternică mărire sau scădere a tensiunii (supraree-glaj), iar depășirea poziției de reglaj este împiedicată printr-o aservire elastică (amortisare adaptată la inducția proprie a excitației).

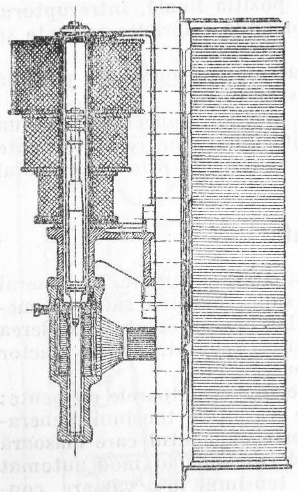


Fig. 24. — Regulator de tensiune electromagnetic direct.

Regulatoarele automate descrise în §§ 14—17 sînt bazate pe principiul electromagnetic, iar regulatorul automat descris în § 18 este bazat pe principiul electronic, făcînd parte din categoria de regulatoare automate cu acțiune rapidă.

Tratarea detaliată a probleme or specifice reglării automate se găsește în .apitolul automatica sistemelor energetice.

14. Regulatoare cu acțiune încetată. *Construcție.* Sistemele de măsură sînt în general electromagneți cu miez de fier mobil, iar elementele de acționare asupra excitației sînt reostate cu ploturi.

Sistemele de măsură ale tensiunii acționează comutatorul cu ploturi, fie direct (fig. 24), fie indirect. În acest din urmă caz, comanda se face printr-un motor auxiliar, printr-un cuplaj magnetic sau printr-un dispozitiv cu clichet.

Viteza de reglaj admisibilă este în funcție de inerția magnetică a mașinii și de sensibilitatea prescrisă (variația maximă de tensiune admisibilă). În cazul unei sensibilități de ± 0,5 % sînt necesare circa 45 s pentru a parcurge toată scara de reglaj.

Compundaj. În cazul sistemelor de măsură de curent continuu se poate realiza un compundaj artificial, adică se poate menține tensiunea constantă într-un punct de alimentare depărtat (fără utilizarea de fire pilot), printr-o înfășurare serie acționînd în sens contrar înfășurării de tensiune a sistemului de măsură (fig. 25).

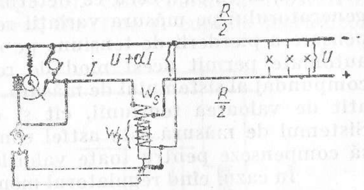


Fig. 25. — Regulator de tensiune cu servomotor.

Se dau următoarele notații:

w_s și w_t — numărul de spire ale bobinelor serie și de tensiune;

r — rezistența bobinei de tensiune;

I — intensitatea curentului debitat de generator:

U — tensiunea pentru $i = 0$;

$U + \alpha I$ — tensiunea la sarcina I.

Relația dintre aceste mărimi se poate scrie:

$$U + \alpha I = U + \frac{w_s}{w_t} r I.$$

Dacă în plus R este rezistența liniei pînă la punctul de alimentare (dus și întors) și dacă tensiunea U în acest punct trebuie menținută constantă, se impun condițiile:

$$\alpha = \frac{w_s}{w_t} r = R, \text{ sau: } w_s = w_t \frac{R}{r}.$$

Dacă este necesar a se menține constante atît tensiunea la centrală cît și tensiunile, corespunzător mai mici, în anumite puncte de alimentare, curentul fiind variabil, se va prevedea în punctul de alimentare respectiv un regulator acționînd asupra unei rezistențe serie. Regulatoare similare sînt întrebuințate pentru încărcarea artificială a turbinelor, pentru a se evita ambalarea acestora în caz de descărcare bruscă.

Mers în paralel. Cînd într-o centrală lucrează în paralel mai multe generatoare, se întrebuințează o singură comandă automată pentru toate reostatele de excitație, deoarece altfel s-ar produce perturbații serioase datorită curenților de echilibru.

În cazul generatoarelor de curent continuu lucrînd în paralel, dacă se modifică excitația unei mașini, se modifică în consecință și sarcina acesteia.

În cazul generatoarelor de curent alternativ lucrînd în paralel, cu viteză constantă, reglajul puterii debitate de mașină nu se poate face decît acționînd asupra regulatorului centrifugal al mașinii cu vapori sau asupra admisiei motorului termic respectiv. O variație a excitației unui generator de curent alternativ nu modifică decît curenții reactivi de echilibru. Rezultă că atunci cînd sînt mai multe generatoare de curent alternativ mergînd în paralel, se poate manevra reostatul unei singure mașini fără inconveniente, compensarea excitației restului de mașini fiind asigurată prin curenți reactivi de echilibru.

Nu este însă recomandabil a se întrebuința relee de comandă separată pentru diversele reostate, decît dacă releele sînt prevăzute cu înfășurări auxiliare sau dispozitive speciale care înlătură curenții de echilibru. În cazul a două generatoare, releul generatorului I poate fi compundat cu curentul generatorului II și invers.

15. Regulatoare cu acțiune accelerată. *Modul de acționare.* Regulatoarele cu acțiune accelerată au o construcție analoagă celor cu acțiune lentă, dar posedă în plus o aservire elastică a sistemului de măsură al tensiunii care permite o viteză de reglaj mai mare, fără să rezulte o depășire a poziției de reglaj. Toată scara de reglaj este parcursă în aproximativ 9 s.

Dispozitivul de aservire acționează în sens contrar deplasării miezului sistemului de măsură, după ce reglajul a început și are același efect ca și cum sistemul ar fi pus în mod temporar pe o sensibilitate mai mare. După terminarea reglajului, prima sensibilitate se restabilește progresiv și automat.

Construcție. În cazul generatoarelor de curent alternativ trifazat, cele mai multe regulatoare modifică excitația printr-un reostat așezat în circuitul principal de excitație, iar unele acționează asupra excitației unei excitatrice speciale.

Regulatorul reprezentat în fig. 26 lucrează printr-un dispozitiv de clichet asupra roții dințate h de pe axa regulatorului, iar aservirea elastică se produce de la aceasta prin intermediul roților dințate o, p, cataractei de ulei q și arcului r, asupra armăturii n a sistemului de măsură.

Regulatorul pentru generator de curent continuu, reprezentat în fig. 27, acționează reostatul principal printr-un motor auxiliar și prin intermediul unei înfășurări auxiliare h, în paralel cu înfășurarea principală s a sistemului de măsură, și în timpul reglajului întărește sau slăbește acțiunea înfășurării principale, după sensul de rotație al motorului, și prin aceasta lucrează ca aservire, contra închiderii respective a contactelor. Două alte înfășurări auxiliare k, legate cu contactele, compensează rezistența indusului și întăresc aservirea.

Regulatorul pentru generator de curent alternativ, conform schemei reprezentată în fig. 28, acționează, reostatul prin intermediul unui motor auxiliar reversibil m, aservirea miezului sistemului de măsură făcîndu-se prin indusul motorului, cu ajutorul unei frîne electrice, prin curenți turbionari M. Acest regulator poate fi construit și pentru reglaj pe grupe de generatoare.

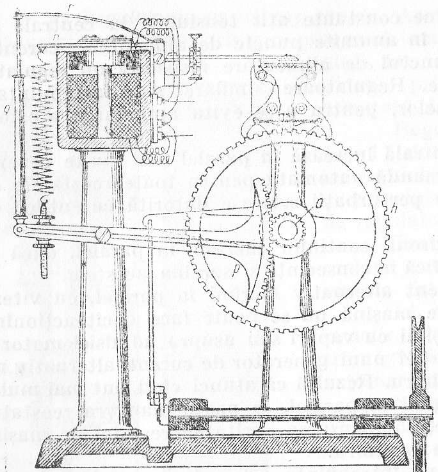


Fig. 26. — Regulator de tensiune cu acțiune accelerată.

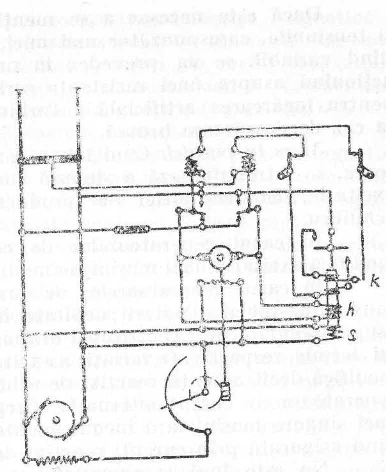


Fig. 27. — Regulator de tensiune de curent continuu cu acțiune accelerată.

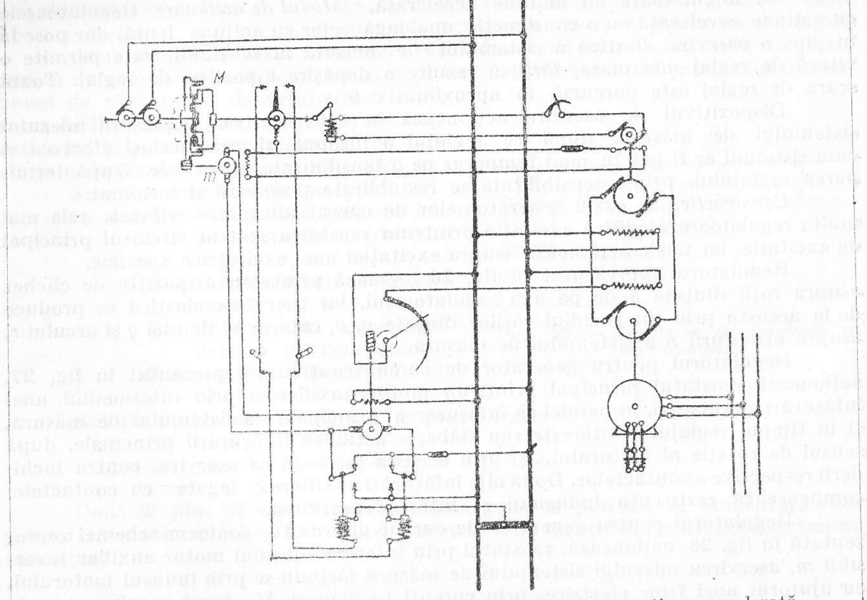


Fig. 28. — Regulator de tensiune de curent alternativ cu acțiune accelerată.

Un regulator cu acțiune directă des întrebuințat este regulatorul de tip cu sectoare reprezentat în fig. 29. Acest aparat, considerat în general ca un regulator rapid, reglează curentul de excitație al unei excitatrice speciale, prin intermediul unei rezistențe foarte divizate, conectată în circuitul de excitație al excitatricei. Aparatul se compune din următoarele dispozitive: un sistem de măsură, reostatul care produce variația curentului de excitație, un dispozitiv de amortisare și un dispozitiv de aservire elastică.

Sistemul de măsură este un aparat cu cîmp învîrtitor avînd două serii de poli pe care se găsesc două înfășurări, *a* și *b* (fig. 29, *b*), puse în paralel, una din înfășurări fiind legată în serie cu o rezistență fixă *R*, care creează o diferență de fază între curenții alternativi, circulînd în cele două înfășurări, deci și între fluxurile celor două serii de poli, formîndu-se astfel un cîmp învîrtitor.

Cele două înfășurări sînt conectate în serie cu două rezistențe *u* și *u'*, fie direct, fie prin intermediul unui transformator, la tensiunea rețelei pe care debitează generatorul respectiv. Cîmpul învîrtitor influențează un cilindru de aluminiu suspendat pe un ax menținut în echilibru de un arc spiral principal *f* (fig. 29, *a*) și un al doilea arc reglabil, care, prin reglaj, poate compensa în întregime acțiunea primului — și în acest caz echipajul mobil este în echilibru în orice poziție — sau poate compensa numai în parte acțiunea primului arc menționat mai sus. În primul caz, regulatorul menține o tensiune riguros constantă, pe cînd în al doilea tensiunea variază — în limite foarte mici dealtfel — cu poziția echipajului mobil.

Reostatul propriu zis este format dintr-o rezistență foarte divizată, punctele de diviziune fiind legate la mici ploturi dispuse pe un cerc în formă de colector și împărțite în două segmente, pentru aparatele normale, și în patru segmente, pentru cele mari. Maneta cu perie a unui reostat de excitație obișnuit este înlocuită aici prin două sau patru sectoare *S*, care rulează pe partea interioară a ploturilor, fiecare sector fiind susținut printr-un vîrf ascuțit și un lagăr cu piatră dură suspendat printr-un arc fixat pe axul din centrul întregului sistem.

Arcurile din cele două segmente opuse sînt în echilibru și asigură o presiune constantă asupra sectoarelor și ploturilor, fără a acționa asupra axului regulatorului, dînd astfel o sensibilitate foarte mare sistemului de reglaj. Tot pe ax se găsește și un indicator de poziție al regulatorului.

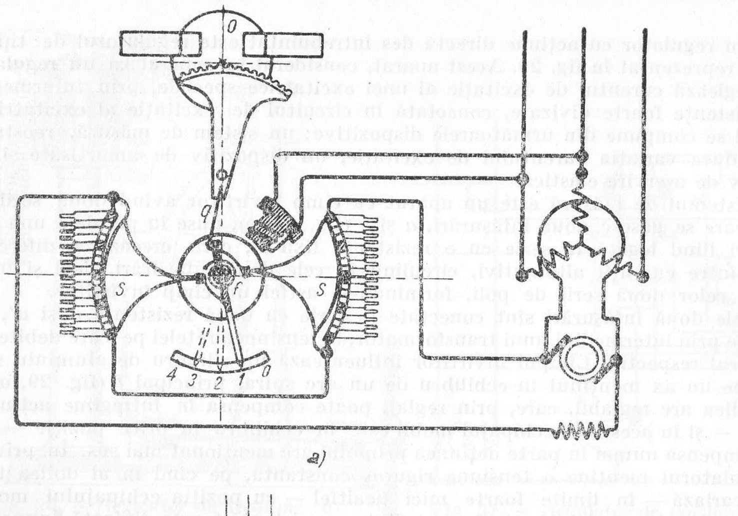
Fiecare sector este conectat cu unul din ploturile finale ale segmentului respectiv, astfel încît, atunci cînd sectorul calcă pe acest plot, toată rezistența segmentului este introdusă în circuit, iar prin rotirea axului, sectorul atinge treptat restul de ploturi ale segmentului, scurtcircuitînd treptat rezistența acestuia pînă la plotul final, opus celui cu care este legat, cînd toată rezistența este scurtcircuitată.

Dispozitivul de amortisare este format dintr-un disc de aluminiu, care se învîrtește între polii unui magnet permanent și este condus de sistemul de măsură prin dispozitivul de aservire elastică.

Dispozitivul de aservire elastică se compune dintr-un sector dințat, care este acționat prin intermediul arcului *q* de către echipajul mobil al sistemului de măsură. Sectorul dințat antrenează printr-un mic pinion discul de aluminiu al dispozitivului de amortizare.

Modul de funcționare. Dacă la plină sarcină regulatorul se găsește în poziția *1* a indicatorului (fig. 29, *a*), rezistența este aproape în întregime scurtcircuitată. Dacă la un moment dat sarcina scade, de exemplu la jumătate, tensiunea generatorului crește și cîmpul învîrtitor al releului (aparat de măsură) crește proporțional.

Rotorul releului se pune în mișcare antrenînd direct sectoarele reostatului propriu zis și, prin arcul *q*, dispozitivele de aservire elastică și amortisare. La început mișcarea releului are loc nestingherită, dar apoi, prin armarea arcului de aservire



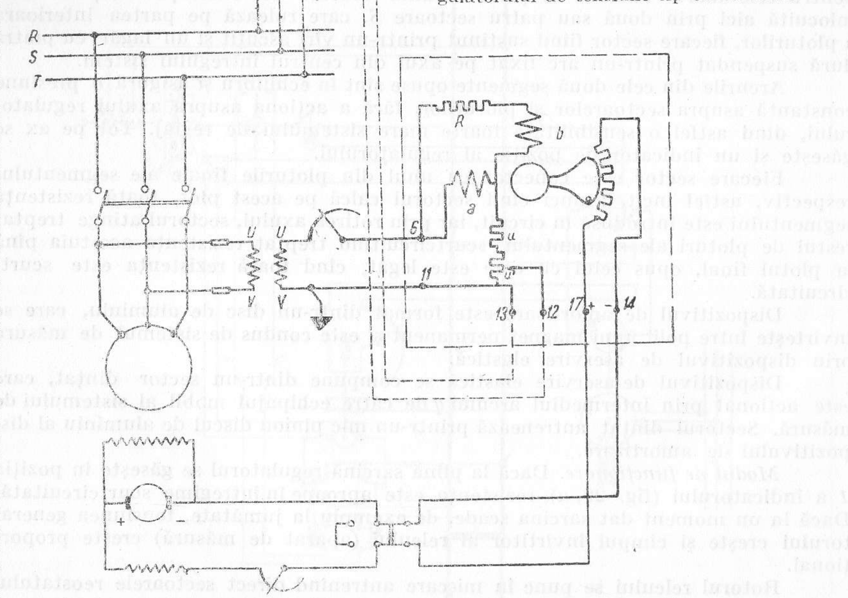


Fig. 29. – Regulator de tensiune tip cu sectoare:

a – dispoziția constructivă; *b* – schema regulatorului de tensiune tip cu sectoare.

q, își încetinește mișcarea și se oprește pe o poziție, care în general, depășește noua poziție de echilibru. Tensiunea generatorului revine la normal cu oarecare întîrziere, datorită inerțiilor magnetice, iar sistemul mobil revine împreună cu dispozitivul de aservire pe noua poziție de echilibru, atît prin acțiunea arcului principal, cît și prin aceea a arcului dispozitivului de aservire.

În cazul cînd variațiile de sarcină sînt încete, arcul *q* nu mai intervine. Punerea la punct a regulatorului pentru o anumită tensiune se face cu ajutorul rezistenței serie *u* (fig. 29, *b*).

Compundaj. Regulatorul poate fi întrebuințat și pentru a menține tensiunea constantă într-un punct de distribuție depărtat, fiind făcut să acționeze în așa fel ca, pe măsura creșterii sarcinii, să asigure o creștere a tensiunii care să compenseze la fiecare sarcină pierderea de tensiune pe linia de distribuție. Pentru aceasta se conectează la bornele rezistenței de compensare *u'* secundarul unui transformator de intensitate al cărui primar este legat în serie pe una din fazele liniei de distribuție. Curentul pe linia de distribuție influențează curentul care circulă în sistemul de poli inductori ai sistemului de măsură, deci valoarea cîmpului învîrtitor al acestuia, iar dispoziția înfășurării de curent este astfel, încît o creștere a curentului principal influențează cîmpul învîrtitor în sensul unei micșorări a tensiunii. Astfel, regulatorul mărește în măsura necesară tensiunea generatorului.

16. **Regulatoare cu acțiune rapidă.** *Construcție.* Regulatoarele cu acțiune rapidă funcționează cu excitatrice speciale, a căror tensiune este pulsatorie și care nu mai pot fi, deci, întrebuințate pentru alte scopuri. Regulatorul, a cărui schemă este reprezentată în fig. 30, se compune dintr-un reostat *r*, care se ajustează manual la începutul funcționării, un dispozitiv de punere în scurtcircuit periodic a acestui reostat și un sistem de măsură al tensiunii.

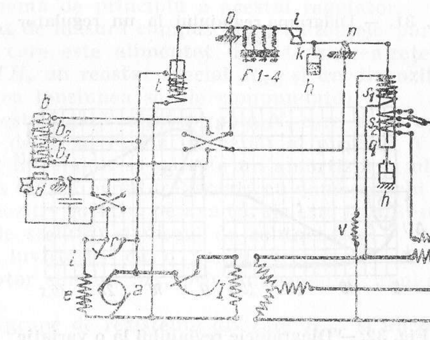


Fig. 30. – Regulator de tensiune cu acțiune rapidă.

Reostatul este conectat în circuitul excitației *e* al excitatricei *a* și rezistența sa, în poziția de funcționare (după perioada de ajustaj), permite o variație a tensiunii excitatricei în raportul 1 la 3, între situația cînd această rezistență este în circuit și situația ei cînd este scurtcircuitată. Variația corespunzătoare a curentului de excitație al generatorului corespunde raportului 1 la 7.

Dispozitivul de punere în scurtcircuit periodic este format din două relee vibratoare: releul *t*, care acționează, prin pîrghia mobilă, în jurul axului *O*, contactul vibrator *l* și releul diferențial *b* cu contactele vibratoare *d*.

Sistemul de măsură al tensiunii *q* are înfășurarea s_1, alimentată la tensiunea rețelei, fie direct, fie printr-un transformator de tensiune, și, în cazul cînd este necesar, un reglaj compund, care are o înfășurare suplimentară s_2, alimentată de un transformator de intensitate. Sistemul de măsură deplasează prin acțiunea sa, într-un sens sau altul, pîrghia, mobilă în jurul axului *n*, care poartă contactul *k* pe care vibrează contactul *l*.

Funcționare. În momentul punerii în funcțiune a regulatorului, contactele *d* sînt în atingere, iar *l* și *k* sînt depărtate, deoarece releul *t* este cu miezul atras, fiind conectat la tensiunea excitatricei *a*, care este maximă întrucît reostatul *r* este scurtcircuitat de contactele *d* ale releului *b*.

Imediat funcționează acum releul diferențial b, fiind alimentat pe una din înfășurări la tensiunea excitatricei; contactele d se deschid și reostatul este introdus în circuitul excitației e al excitatricei a, tensiunea acesteia scăzînd instantaneu.

Din această cauză releul l își micșorează forța de atracție, arcurile f 1—4 deplasează pîrghia respectivă pînă ce l și k, intră în contact, alimentînd a doua înfășurare a releului diferențial b, care se desexcită, întrucît b_1 și b_2 sînt înfășurate în sens contrar.

Paleta mobilă d cade închizînd contactul, reostatul este scurtcircuitat, tensiunea crește și releul l învinge tensiunea arcurilor f 1—4, iar contactele l și k se desfac, ajungînd la situația de la început. În acest mod, cele două grupuri de contacte vibrează în permanență, durata de închidere a contactelor l și k fiind mai mare sau mai mică, după poziția contactului k, adică a sistemului de măsură al tensiunii.

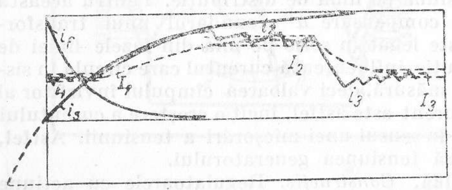


Fig. 31. — Diagrama reglajului la un regulator rapid.

Din această cauză și durata de scurtcircuitare a reostatului este de asemenea variabilă cu poziția sistemului de măsură, și valoarea medie a tensiunii excitatricei scade sau crește în consecință. Din cauza inerției magnetice a circuitului de excitație a generatorului, tensiunea acestuia este proporțională cu tensiunea medie a excitatricei; deci variază cu poziția releului de tensiune.

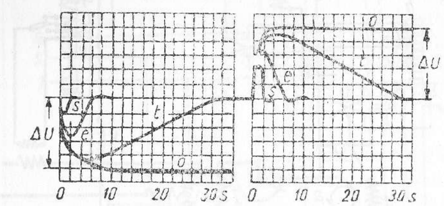


Fig. 32. — Diagramele reglajului la o variație de tensiune la un generator de putere mare.

Înfășurarea s_1 a sistemului de măsură poate fi conectată în serie cu o rezistență ohmică v de circa 10 ori mai mare ca cea a înfășurării propriu zise, precauție prin care funcționarea sistemului și, deci, menținerea tensiunii constante este asigurată chiar la o frecvență variabilă.

Cataracta de ulei h acționează ca o frînă și împiedică orice depășire a poziției de reglaj.

În fig. 31 se vede efectul regulatorului cu acțiune rapidă. În cazul cînd reostatul r este pus în scurtcircuit sau menținut în circuit timp mai îndelungat, curentul de excitație i crește sau descrește după curba i_s, respectiv i_f. În cazul cînd reostatul r este pus în circuit cu o frecvență corespunzătoare tensiunii respective a arcurilor f (sarcinii generatorului), intensitatea variază conform curbei în zigzag i_1. Dacă sarcina crește, intensitatea crește foarte repede de la i_1 la i_2 grație reglajului rapid, deoarece r este pus în scurtcircuit în întregime și nu plot cu plot, în mod progresiv. Excitația principală a generatorului I_1 crește mult mai încet, pînă la I_2, din cauza inducției proprii; arcul f cedează încetul cu încetul (cataracta de ulei), pe cînd i_2 depășește la început poziția de reglaj și descrește apoi pînă la o nouă valoare medie. Dacă sarcina descrește pînă la i_3, respectiv I_3 regulatorul acționează în sens invers. În fig. 32 sînt reprezentate diagramele reglajului tensiunii unui generator de putere mare, cînd sarcina acestuia trece

brusc de la 1/3 la 1/1 din sarcina normală și invers. În aceeași figură sînt reprezentate:

curba o, fără regulator;
curba i, cu regulator cu acțiune înceată în aproximativ 24 s;
curba e, cu regulator cu acțiune accelerată în aproximativ 12 s;
curba s, cu regulator cu acțiune rapidă în aproximativ 3,5 s.

Cînd într-o centrală electrică mai multe generatoare sînt echipate cu un singur regulator automat, cu acțiune rapidă, acesta acționează prin relee intermediare, fie o excitatrice comună, fie excitatricele individuale ale generatoarelor.

Caracteristicile excitatricelor și generatoarelor trebuie să concorde, întrucît în caz contrar, se produc curenți de echilibru de valori importante.

17. Regulatorul sovietic HEMZ prin impulsii. Pentru a combina avantajele regulatoarelor cu acțiune rapidă și instantanee, industria sovietică construește un regulator de tensiune denumit HEMZ tip SN-91 prin impulsii. Avînd în vedere calitățile sale, acest tip de regulator este întrebuințat pe o scară foarte întinsă și cu mult succes în U.R.S.S.

Regulatorul HEMZ tip SN-91 are următoarele avantaje esențiale față de tipurile precedente:

1) reglarea rapidă pentru variații importante ale tensiunii generatorului;
2) reglarea progresivă pentru variații mici ale tensiunii generatorului.

În fig. 33 este reprezentată schema de principiu a acestui regulator.

Construcție. Releul este un aparat de măsură compus din următoarele părți:

Un motor trifazat frînat M_m, care este alimentat de la tensiunea rețelei printr-un transformator de tensiune, TH, un reostat special R_{ust} și un dispozitiv de compundare TK (dacă este cazul ca tensiunea să fie compundată).

Cu axa rotorului motorului M_m este legată rigid pîrghia N, care se rotește în jurul punctului O, fiind menținută de arcul F. La un capăt al pîrghiei N se găsește un sistem de contacte, pe cînd la celălalt se găsește un amortizor în ulei.

Sistemul de contacte este compus dintr-o montură izolată cu două perechi de contacte flexibile $a-a$ și $b-b$ și un dispozitiv rotativ, pe axa căruia este fixată steluța de contact Z_v (pinion în formă de steluță) și discul de contact D_k.

Axul dispozitivului rotativ se învîrtește cu o turație constantă (2—4 rot/min), fiind antrenat de un mic motor sincron M_k, prin intermediul unui reductor R.

Reostatul se compune din două grupe de rezistențe divizate R_{rvr} și un mic servomotor M_r, arborele acestuia antrenînd un șurub fără fine, care conduce carul cu periile ce fac contact cu ploturile rezistenței divizate.

Aceste rezistențe sînt conectate în circuitul excitației excitatricei generatorului.

Două relee auxiliare UR_1 și UR_2 au rolul de a comanda motorul reostatului. Înfășurările acestor două relee sînt puse în circuit de contactele $a-a$, steluța Z_v și contactul S_k de pe axul motorului M_k.

În afară de cele menționate mai sus, regulatorul mai posedă două relee cu acțiune rapidă, BV pentru creșterea și BR pentru micșorarea bruscă a tensiunii, înfășurările acestora fiind acționate de contactele $b-b$ și discul D_k.

Cînd releul BV este excitat, rezistența reostatului este scurt circuitată (tensiune maximă), iar prin acționarea releului BR se introduce în circuitul excitației excitatricei o rezistență suplimentară R_{vr}, în serie cu rezistența divizată R_{rvr} (tensiune minimă).

Amortizorul cu ulei servește la amortizarea oscilațiilor regulatorului și la stabilizarea reglării.

Funcționare. Dacă tensiunea rețelei este normală, cuplul motorului M_m (lucrînd aici ca sistem de măsură), este echilibrat de tensiunea arcului F, pîrghia

N stă în poziție verticală, contactele $a-a$ și $b-b$ sînt depărtate de Z_v, respectiv de D_k, iar releele UR_1 și UR_2 sînt în stare de repaus, ca și servomotorul M_r.

Dacă tensiunea rețelei variază în plus sau în minus față de valoarea normală, cuplul motorului M_m variază de asemenea, echipajul mobil al sistemului de măsură împreună cu pîrghia N și sistemul de contacte se rotesc spre dreapta sau spre stînga, cu atît mai mult, cu cît variația de tensiune este mai mare. La variații de tensiune pînă la 3—5 %, pîrghia N are deplasări unghiulare mici și dinții steluței ating unul din contactele a în spre stînga sau în spre dreapta. Durata intervalelor de contact depinde de mărimea unghiului de rotație a sistemului de contacte, fiind cu atît mai mare, cu cît variația de tensiune este mai mare. Dacă, de exemplu, tensiunea scade, echipajul mobil al sistemului de măsură M_m se rotește spre dreapta, contactul a din stînga atinge steluța Z_v, iar releul UR_1 este atras la fiecare contact. Releul UR_1 comandă servomotorul M_r, în sensul în care șurubul fără fine deplasează carul cu periile reostatului, reduce rezistența reostatului, excitația crește și tensiunea revine la valoarea normală. Dacă tensiunea rețelei crește, totul se petrece invers decît în cazul explicat mai sus.

Steluța Z_v dînd impulsii releelor UR_1 și UR_2 și deci motorului M_r, reglarea tensiunii nu este continuă, ci treptată.

Cu cît variația de tensiune este mai mare, cu atît și durata perioadelor de acționare a releelor UR_1 și UR_2 este mai lungă, deci și reglajul este mai rapid și mai energic.

Carul cu perii are întreruptoare de fine de cursă KO care întrerup circuitul de alimentare al servomotorului la limita cursei de reglaj.

La variații de tensiune mai mari de 3—5 %, unghiul de deplasare al sistemului de contacte este mai mare, astfel încît unul din contactele b, din dreapta sau din stînga, atinge discul D_k, închizînd circuitul unuia din releele BV, respectiv BR. Dacă tensiunea scade brusc, lucrează BV; întreaga rezistență a reostatului este scurtcircuitată și excitația devine maximă, ceeace face ca tensiunea generatorului să crească foarte repede.

Cînd tensiunea se apropie de valoarea sa normală, sistemul de contacte începe să revină, contactul b părăsește discul D_k, releul BV se eliberează și, din acest moment, începe să funcționeze reglajul prin impulsii.

Reglajul este terminat numai atunci cînd pîrghia N revine în poziția verticală, deci cînd tensiunea a ajuns la valoarea de regim, sistemul fiind astatic.

Dacă se introduce dispozitivul TK între transformator și aparatul de măsură, se poate realiza compundajul dorit.

Rezistența de reglaj manual R_{rv} este, în general, scoasă din circuit, atunci cînd funcționează reglajul automat.

Atunci cînd este nevoie de un reglaj mai rapid și în limite mai mari, de exemplu cum este necesar în cazul generatoarelor mari antrenate de turbine hidraulice, în locul montajului în serie al rezistenței divizate de reglaj, arătat în schema din fig. 33, se întrebuințează un montaj în punte, care acționează asupra unei excitatrice pilot debitînd curentul de excitație al excitatricei propriu zise a generatorului.

18. Regulatoare electronice. În afara regulatoarelor electromecanice, descrise mai sus, în ultimul timp se întrebuințează și *regulatoare electronice cu tuburi*. Aceste regulatoare au marele avantaj de a nu comporta piese mobile, evitîndu-se astfel reglajele mecanice, care sînt foarte delicate și necesită personal de exploatare cu o înaltă calificare. Deasemenea, uzura este redusă la uzura tuburilor, care se pot schimba foarte ușor.

În cele ce urmează se va descrie regulatorul electronic al Institutului Electrotehnic Unional (V.E.I.). Acest regulator a fost încercat în laboratoarele sovietice C.L.E.M. Mosenergo și apare ca unul din cele mai perfecte regulatoare de tensiune actuale, fiind foarte sensibil și stabil în același timp.

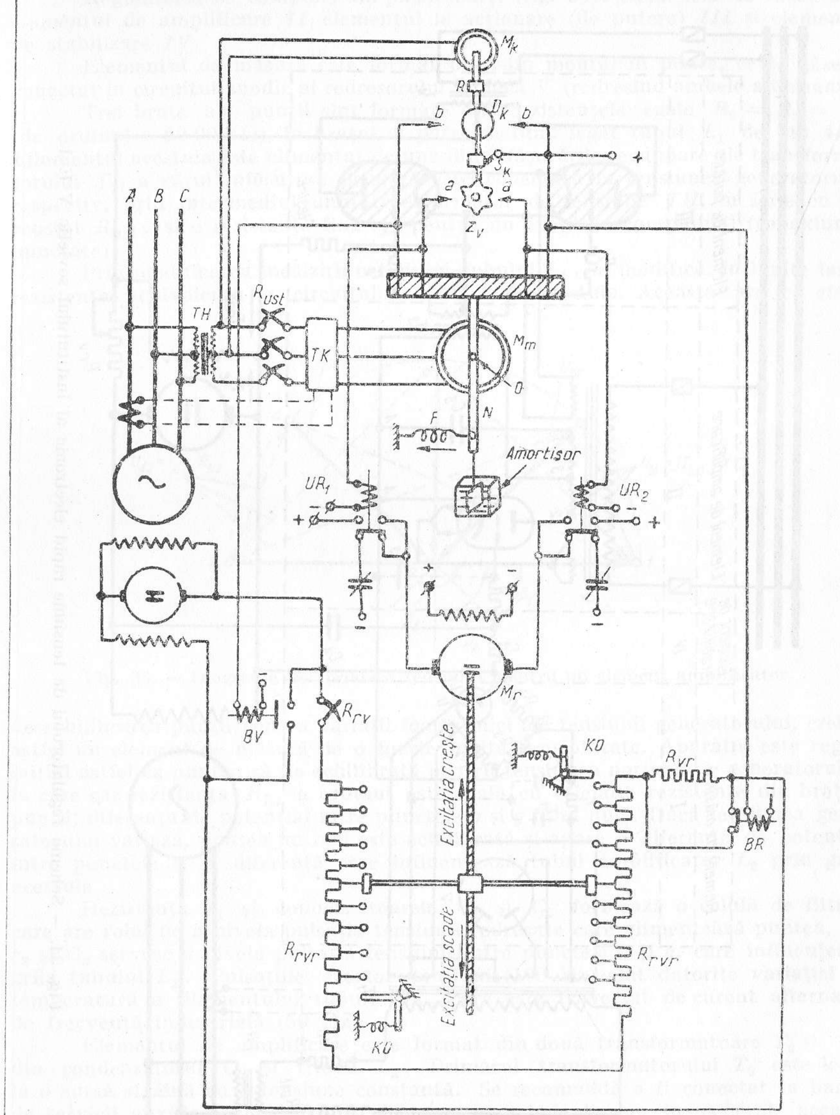


Fig. 33. — Schema regulatorului de tensiune rapid sovietic HEMZ tip SN-91, prin impulsii.

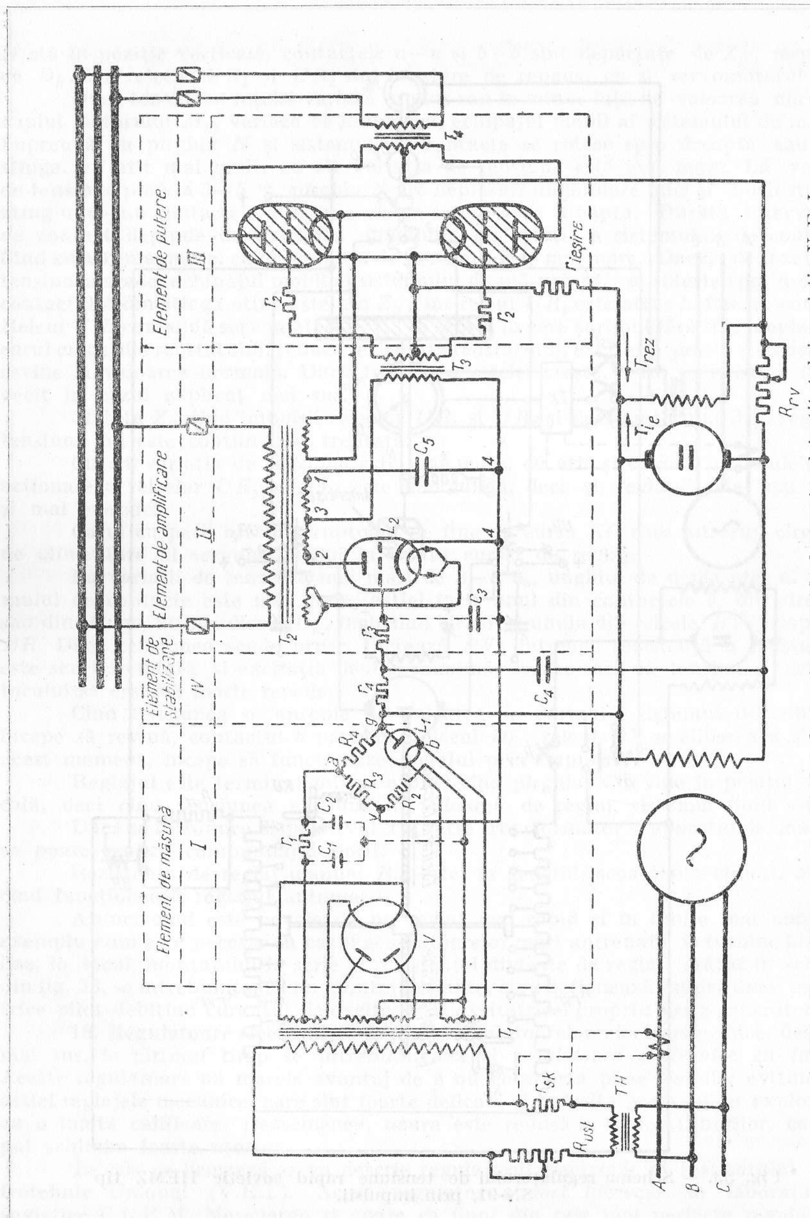


Fig. 34. — Schema regulatorului de tensiune rapid electronic al institutului sovietic V E I.

Regulatorul se compune din patru părţi (fig. 34): elementul de măsură *I*, elementul de amplificare *II*, elementul de acţionare (de putere) *III* şi elementul de stabilizare *IV*.

Elementul de măsură este format dintr-un montaj în punte, ce se găseşte conectat în circuitul anodic al redresorului biplacă *V* (redresînd ambele alternanţe).

Trei braţe ale punţii sînt formate din rezistenţele egale $R_2 = R_3 = R_4$ (de ordinul a 50 000 Ω), în braţul al patrulea fiind legat tubul L_1 de tip 4*D*2. Filamentul acestuia este alimentat de una din înfăşurările secundare ale transformatorului T_1, a cărui înfăşurare primară este conectată la tensiunea generatorului respectiv, prin intermediul unui transformator de tensiune *TH*, în serie cu un reostat R_{ust}, şi o rezistenţă fixă r_{sk} pentru un eventual compundaj (conexiunile punctate).

Prin modificarea încălzirii catodului tubului L_1, se modifică, în limite largi, rezistenţa echivalentă a circuitului anodic al acestuia. Aceasta are ca efect,

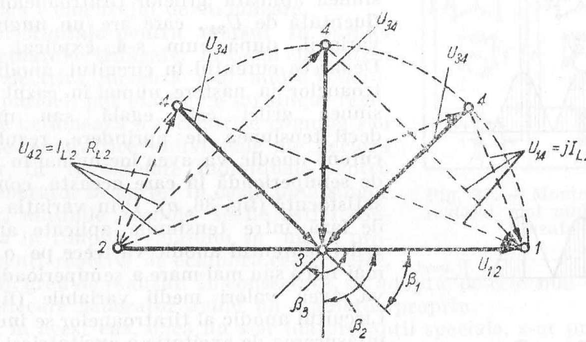


Fig. 35. — Diagrama vectorială a tensiunii pentru un element amplificator.

desechilibrarea punţii pentru variaţii foarte mici ale tensiunii generatorului, creînd astfel un element de măsură de o foarte înaltă sensibilitate. Aparatul este reglat iniţial astfel ca puntea să fie echilibrată pentru tensiunea normală a generatorului, în care caz rezistenţa R_{L1} a tubului este egală cu celelalte rezistenţe din braţele punţii, diferenţa de potenţial între punctele *v* şi *g* fiind nulă. Dacă tensiunea generatorului variază, puntea nu mai este echilibrată şi apare o diferenţă de potenţial între punctele *v*, *g*, diferenţă care influenţează tubul amplificator L_2 prin grila acestuia.

Rezistenţa r_1 şi condensatoarele C_1 şi C_2 formează o celulă de filtraj, care are rolul de a nivela pulsaţia tensiunii redresate care alimentează puntea, iar r_3 şi C_3 servesc a nivela pulsaţia tensiunii între punctele *v* şi *g*, care influenţează grila tubului L_2. Pulsaţiile acestor tensiuni (100 Hz) sînt datorite variaţiei de temperatură a filamentului tubului L_1, care este traversat de curent alternativ de frecvenţă industrială (50 Hz).

Elementul de amplificare este format din două transformatoare T_2 şi T_3, din condensatorul C_5 şi trioda L_2. Primarul transformatorului T_2 este legat la o sursă străină cu o tensiune constantă. Se recomandă a fi conectat la barele de servicii auxiliare ale centralei electrice, care îndeplinesc, în general, această condiţie. În consecinţă, între punctele 1 şi 2, tensiunea U_{12} (fig. 35) este constantă şi se aplică rezistenţei tubului L_2 şi condensatorului C_5; vectorii reprezentînd tensiunile la bornele acestor două elemente (L_2 şi C_5) sînt defazaţi între ei cu

90°, avînd valori şi defazaje variabile faţă de U_{12} cu variaţia rezistenţei tubului L_2. Din cele de mai sus rezultă că tensiunea U_{34} între punctele *3* şi *4* este constantă ca valoare; dar defazajul β între acestea şi U_{12} este variabil cu variaţia rezistenţei tubului L_2, această rezistenţă fiind influenţată de variaţia de tensiune aplicată grilei tubului L_2.

Elementul de acţionare (de putere) (fig. 34) este format din transformatorul T_4 şi un redresor de putere dublă alternanţă, realizat cu ajutorul a două tiratroane (triode cu gaz). Pe de o parte, tensiunea U_{12} (fig. 35) se găseşte în fază cu tensiunea aplicată circuitului anodic al tiratroanelor, iar, pe de altă parte, tensiunea aplicată grilelor tiratroanelor are un defazaj faţă de tensiunea circuitului anodic al acestora. Această diferenţă este variabilă, deoarece tensiunea aplicată grilelor tiratroanelor este influenţată de U_{34}, care are un unghi de fază variabil, după cum s-a explicat mai sus. Deoarece curentul în circuitul anodic al tiratroanelor ia naştere numai în cazul cînd tensiunea grilei este egală sau mai mare decît tensiunea de aprindere, rezultă că un curent anodic va avea loc numai în porţiunea de semiperioadă în care această condiţie este satisfăcută (fig. 36, *a*). Prin variaţia diferenţei de fază între tensiunile aplicate anodului şi grilei, curentul anodic va trece pe o porţiune mai mică sau mai mare a semiperioadelor; deci va avea valori medii variabile (fig. 36, *b*). Circuitul anodic al tiratroanelor se închide prin înfăşurarea de excitaţie a excitatricei, din care cauză, prin modificarea valorii medii a curentului anodic al tiratroanelor, se modifică excitaţia excitatricei şi, prin urmare, şi tensiunea generatorului. Deobicei, la funcţionarea generatoarelor sub sarcină, regulatoarele se ajustează astfel, încît curentul tiratroanelor să compună partea cea mai mare a curentului de excitaţie al excitatricei.

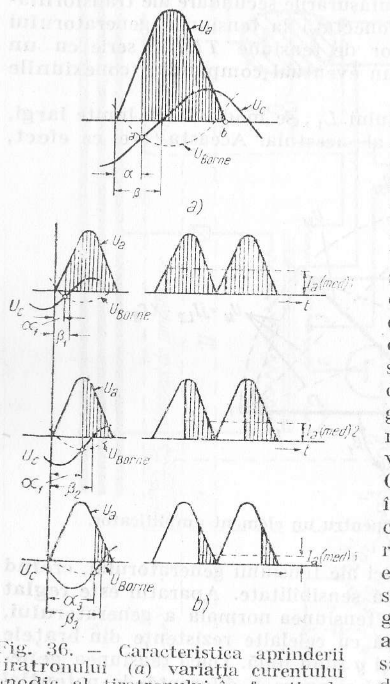


Fig. 36. — Caracteristica aprinderii tiratronului (*a*) variaţia curentului anodic al tiratronului în funcţie de defazajul tensiunii de grilă (*b*).

Valoarea rezistenţei R_{rv} din circuitul de excitaţie al excitatricei (fig. 34) se ajustează deobicei corespunzător mersului în gol al generatorului.

Elementul de stabilizare este compus din rezistenţa r_4 şi condensatorul C_4, conectate la tensiunea excitaţiei excitatricei. În regim stabil, tensiunea la bornele condesnatorului C_4 este egală cu tensiunea de excitaţie; dar imediat ce aceasta din urmă suferă o modificare în cursul reglajului, un curent ia naştere în circuitul r_4C_4, curent care modifică diferenţa de potenţial la bornele rezistenţei r_4, modificînd prin aceasta şi tensiunea aplicată grilei tubului L_2 în sensul dorit (de exemplu, spre a întîrzia acţiunea reglării).

Prin acţiunea elementului r_4C_4 se reduc fenomenele de suprareglare, funcţionarea regulatorului devine stabilă şi se evită pendulările în reglaj.

Funcţionarea regulatorului este foarte uşor de înţeles, după modul de acţionare al fiecăruia din elementele sus arătate. O variaţie într-un sens a tensiunii generatorului, măsurată prin intermediul transformatoarelor *TH* şi T_1, modifică

încălzirea filamentului tubului L_1, deci rezistenţa acestuia, desechilibrînd astfel puntea. La rîndul său, acest desechilibru modifică potenţialul grilei tubului L_2. Aceasta din urmă, prin circuitul său anodic şi al transformatorului T_3, modifică defazajul între tensiunea aplicată anozilor şi cea aplicată grilelor celor două tiratroane, amplificînd în acelaşi timp această acţiune.

În consecinţă, curentul mediu în circuitul anodic al tiratroanelor se modifică în sens convenabil, acţionînd astfel curentul de excitaţie al excitatricei şi aducînd tensiunea generatorului la valoarea normală.

Regulatorul acţionează în mod practic instantaneu, neavînd niciun fel de inerţie în circuitele sale; singura întîrziere în reducerea tensiunii generatorului la valoarea normală este cauzată de inerţia magnetică a excitaţiilor excitatricei şi generatorului şi, eventual, de acţiunea elementului de stabilizare.

19. **Montaje pentru mersul în paralel al generatoarelor trifazate.** În cazul cînd într-o centrală electrică lucrează mai multe generatoare în paralel, pot exista fie un singur regulator care acţionează o excitatrice comună sau o serie de excitatrice individuale ale fiecărui generator, fie regulatoare individuale pentru fiecare generator în parte. În cazul unui singur regulator, maşinile trebuie să fie astfel construite ca în timpul reglajului să nu se producă curenţi reactivi de echilibru, ceea ce este, în general, greu de realizat. În consecinţă, se adoptă, de cele mai multe ori, soluţia a doua, fiecare generator avînd un regulator propriu.

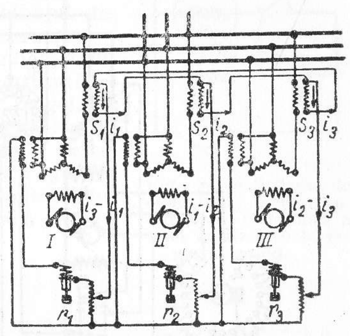


Fig. 37. — Montajul poligonal pentru reglajul mai multor generatoare trifazate în paralel.

Şi în acest caz, dacă nu s-ar lua precauţii speciale, s-ar putea să se producă curenţi reactivi de echilibru importanţi, mersul în paralel devenind astfel imposibil. Pentru a preîntîmpina aceste inconveniente, se întrebuinţează un montaj de stabilizare a puterii reactive debitate de sistemul generatoarelor.

În fig. 37 este reprezentată schema de legături principială pentru trei generatoare echipate cu regulatoare rapide individuale, de tipul cu sectoare descris detaliat în § 16. Înfăşurările secundare ale transformatoarelor de intensitate S_1, S_2 şi S_3 sînt legate în serie în formă de poligon; între aceste înfăşurări circulă curenţii i_1, i_2 şi i_3. Trei capete simetrice ale acestor înfăşurări sînt conectate prin rezistenţele de ajustare *u*, *u'* (v. fig. 29, *b*) ale fiecărui regulator la un punct comun. Prin fiecare din aceste rezistenţe se suprapun doi curenţi, unul constant, datorit transformatorului de tensiune, şi altul defazat cu circa 90°, datorit legăturii transformatoarelor de intensitate (legături poligonale), a cărui valoare este proporţională cu $i_1 - i_2$, respectiv cu $i_2 - i_3$, $i_3 - i_1$. În consecinţă, regulatoarele nu vor acţiona atît timp cît aceşti curenţi sînt egali; dar imediat ce se va ivi un desechilibru al puterii reactive, se vor produce curenţi care vor influenţa regulatoarele în sensul restabilirii echilibrului. Deoarece numai componenta reactivă a sarcinii influenţează regulatoarele, stabilizarea este menţinută şi în cazul cînd sarcinile active ale generatoarelor sînt diferite, deoarece componentele active ale curenţilor de sarcină rămîn fără efect.

Acest montaj trebuie să cuprindă un dispozitiv de scurtcircuitare a transformatorului de intensitate, dispozitiv care va funcţiona în cazul cînd generatorul respectiv va fi scos de pe reţea.

Dacă mai multe centrale funcţionează în paralel şi fiecare posedă un regulator cu acţiune rapidă sau accelerată, se poate întrebuinţa dispoziţia schemei

din fig. 38, prin care se evită producerea de curenți de echilibru, fără a fi necesare circuite pilot sau de legătură între centrale. În acest caz, doi vectori acționează asupra unui releu de tensiune, un vector tensiune AB și un vector curent BC (admițînd o rezultantă AC) (fig. 39), vectori care sînt perpendiculari unul pe celălalt. Dacă faza curentului se schimbă (BC_1 sau BC_2), ceea ce înseamnă că s-a produs un curent de echilibru, regulatorul intervine pentru a-l elimina. Dacă poziția normală a vectorului BC nu este perpendiculară pe AB, componenta în direcția BA are o acțiune de compundaj și componenta perpendiculară elimină curentul de echilibru. Regulatoarele de fază U_1 și U_2 (v. fig. 38), din toate centralele, trebuie ajustate conform defazajului din rețea. Regulatoarele influențează generatoarele în așa fel, încît să debiteze curenți de aceeași fază, la tensiune constantă.

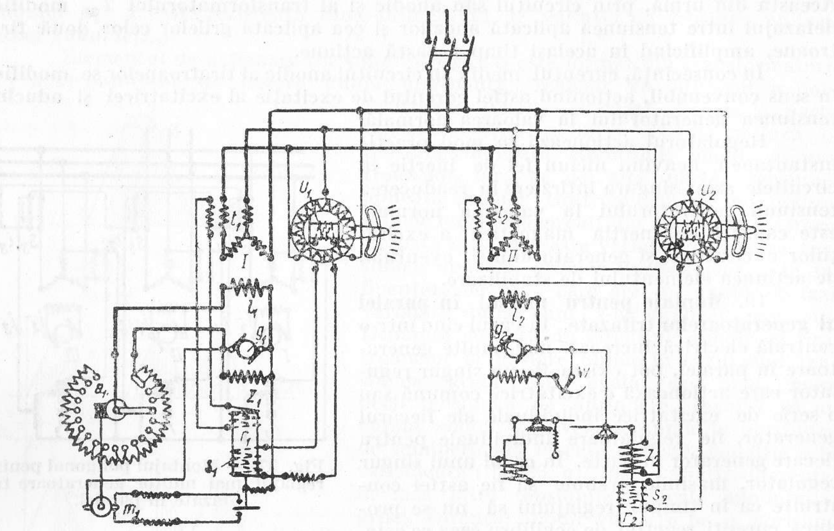


Fig. 38. — Schema reglajului a două generatoare trifazate în paralel în două centrale electrice separate.

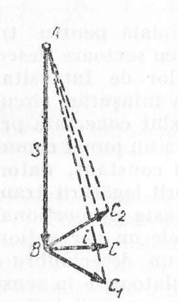


Fig. 39. — Diagrama reglajului pentru anularea curentului de circulație în cazul a două generatoare în paralel în centrale electrice separate.

20. **Excitatrice pentru regulatoare automate.** Tensiunea maximă a unei excitatrice se determină după categoria din care face parte regulatorul automat cu care această excitatrice va funcționa.

În cazul regulatoarelor cu acțiune înceată, tensiunea maximă a excitatricei se va determina conform tensiunii maxime a excitației generatorului. În cazul regulatoarelor cu acțiune rapidă și accelerată, tensiunea și puterea excitatricei se vor lua cu circa 15% mai mari decît tensiunea și puterea maximă necesare excitației generatorului pentru a utiliza avantajele supraexcitației chiar și în cazul cînd generatorul funcționează la plină sarcină.

Dacă, în cazul regulatoarelor cu acțiune accelerată, energia de excitație este furnizată de o excitatrice specială, avînd propria sa excitație în derivație, creșterea de tensiune, în caz de descărcare a generatorului, poate provoca o încălzire apreciabilă a bobinelor de excitație; aceasta poate fi evitată prin adăugarea unei înfășurări compund. Înfășurările compund nu convin regulatoarelor cu acțiune rapidă. Pentru a se putea instala ulterior un regulator cu acțiune rapidă sau accelerată fără a se modifica bobinajul de excitație al excitatricei (compund), se poate utiliza schema din fig. 40, prin care, la variația poziției regulatorului principal, se obține o tensiune aproximativ constantă a excitatricei dela mersul în gol la plină sarcină. În gol, r_2 este conectat în paralel cu r, iar la plină sarcină, r_2 este conectat în paralel cu r_0. Excitația excitatricei este deci slăbită în gol și mărită la plină sarcină. Dacă i_0 este curentul de excitație în gol și i_s curentul de excitație în plină sarcină, rezistențele vor trebui să satisfacă următoarele relații:

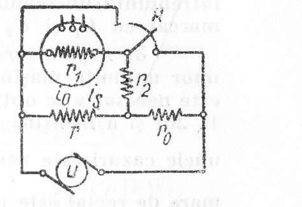


Fig. 40. — Schema de conexiuni pentru adaptarea ulterioară a unei excitatrice la reglajul rapid.

$$r_0 = \frac{U - i_s r}{i_0} \text{ și } r_2 = \frac{U - i_s r}{i_s - i_0}.$$

21. **Alte aplicații ale regulatoarelor automate.** Regulatoarele automate și în special regulatoarele cu acțiune rapidă pot fi întrebuințate în multe alte cazuri, cînd anumite mărimi determinate (curent, putere, turație, frecvență etc.) trebuie menținute constante sau trebuie să aibă o variație conform unei anumite caracteristice.

Printre acestea se pot enumera:

α) *Regulatoare pentru curent constant*, în instalațiile cu curent continuu pentru efect de volant-tampon sau de baterie-tampon cu supravoltor.

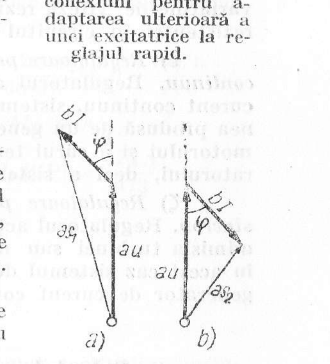


Fig. 41. — Diagramele de funcționare ale unui regulator pentru putere constantă: *a* — diagrama primului solenoid; *b* — diagrama celui de al doilea solenoid.

β) *Regulatoare pentru putere constantă în curent continuu sau trifazat*, în instalațiile tampon sau grupurile generator-motor ale mașinilor de extracție. Aceste regulatoare comportă relee de putere pentru curent continuu, avînd o bobină de tensiune plată mobilă într-un plan vertical, într-un cîmp principal dublu, sau relee de putere pentru curent alternativ, formate din doi solenoizi, care acționează în sens invers asupra a două miezuri de fier cuplate. Bobinele sînt traversate de un curent:

$$a\,U + b\,I \cos\varphi,$$

sau:

$$a\,U - b\,I \cos\varphi$$

(fig. 41, *a*, respectiv 41, *b*).

Forțele de atracție F_1 și F_2 ale bobinelor sînt proporționale cu pătratul amperspirelor rezultante as_1 și as_2; în consecință, $F_1 - F_2 = kUI \cos\varphi$, deci proporționale cu puterea, k fiind o constantă.

γ) *Regulatoare pentru menținerea constantă a factorului de putere al mașinilor sincrone.* Acestea posedă, în locul unui sistem de măsură al tensiunii, un releu cu două bobine fixe de tensiune, fiecare alimentată de cîte o fază a curen-

tului trifazat. Bobinele acționează un miez de fier comun, care are o bobină serie mobilă între cele două bobine de tensiune. După cum curentul este decalat înaintea sau în urma tensiunii, atracția este într-un sens sau în sens opus (proporțională cu sin φ).

În locul acestui regulator de construcție specială se poate de asemenea, întrebuința un regulator de tensiune normal, împreună cu dispozitivul special marcat cu U_1 și U_2 în fig. 38, pentru reglajul factorului de putere.

δ) *Regulatoare pentru scară mare de reglaj al vitezei motoarelor.* În cazul unor anumite mașini, cum este de exemplu cazul mașinilor de fabricat hîrtie, este necesar a se obține o scară foarte mare de reglaj al vitezei (de exemplu 1: 20) și a menține constantă viteza, cu o toleranță de maximum 1 %. Deci, în unele cazuri este necesar un reglaj la $\frac{1}{2\,000}$ din viteza normală. Această scară mare de reglaj este realizată printr-o combinație a unui sistem generator-motor, cu un regulator rapid și un generator de curent continuu tahometric, care evită variațiile de viteză rezultînd din variațiile de tensiune ale rețelei, din variația rezistenței în circuitul sistemului generator-motor etc.

ε) *Regulatoare pentru menținerea constantă a vitezei unui motor de curent continuu.* Regulatorul acționează, în acest caz, asupra excitației motorului de curent continuu, sistemul de măsură al regulatorului fiind influențat de tensiunea produsă de un generator de curent continuu tahometric, montat pe arborele motorului și a cărui tensiune este aproximativ proporțională cu turația generatorului, deci a sistemului.

ζ) *Regulatoare pentru menținerea constantă a frecvenței unui generator sincron.* Regulatorul acționează într-un sens sau altul, servomotorul comandînd admisia turbinei sau motorului termic ce antrenează generatorul respectiv. Și în acest caz sistemul de măsură este influențat de tensiunea produsă de un mic generator de curent continuu tahometric, montat pe arborele sistemului.

C. Calculul reostatelor de pornire pentru electromotoare

22. Condiții mecanice. În cele ce urmează se dau metodele de calcul ale pornirii electromotoarelor, luîndu-se în considerație caracteristicile mecanice ale motoarelor și ale dispozitivelor acționate.

Pornirea unui electromotor este caracterizată prin cuplul motor pe care trebuie să-l desvolte din momentul porniri pînă cînd atinge viteza de regim. Sînt posibile trei cazuri:

α) motorul nu are mase de accelerat, ci are de produs lucru mecanic și de învins frecări;

β) motorul are numai mase de accelerat;

γ) motorul are de produs lucru mecanic și de învins frecări, cît și mase de accelerat.

În practică intervine numai al treilea caz, deoarece chiar cînd motorul funcționează în gol, acesta are de învins frecările de mers în gol și inerția masei proprii, dar condițiile de pornire se pot apropia, de la caz la caz, de cazurile limită α și β.

În primul caz, (α), deoarece s-a presupus că nu axistă inerție, motorul va porni cu o accelerație foarte mare și va putea atinge viteza de regim într-un timp foarte scurt. În al doilea caz (β), întreaga forță motoare va fi întrebuințată pentru accelerarea maselor. În fine, în cazul al treilea (γ), o parte a ener-

giei motoare, parte constantă sau variabilă cu viteza, va fi transformată în lucru mecanic sau va învinge frecările, iar restul va accelera masele. În cele ce urmează calculele vor trata acest caz general, admițînd că în perioada de pornire se va consuma o parte constantă din energia motoare pentru efectuarea lucrului mecanic și pentru a învinge frecările. Sarcina motorului va fi exprimată în CP sau kW.

În cele ce urmează s-au folosit următoarele notații:

$\omega, \omega_1, \omega_2, \ldots$ — vitezele unghiulare, în rad/s, după perioada de pornire (mers normal), ale acelorași mase în rotație;

M_p — cuplul de pornire al motorului, în kgm:

$$M_p = \frac{60\cdot 75}{2\pi}\,\frac{P_p\,[\text{CP}]}{n} = 716\,\frac{P_p\,[\text{CP}]}{n} = \frac{30\,000}{9{,}81\,\pi}\,\frac{P'_p[\text{kW}]}{n} = 973\,\frac{P'_p\,[\text{kW}]}{n};$$

βM_p — fracțiunea din cuplu necesară pentru a compensa frecările, în kgm;

P_p — sarcina de pornire, în CP, în funcție de M_p și n:

$$P_p\,[\text{CP}] = \frac{1\,000}{75\,\text{g}}\,P'_p\,[\text{kW}] = 1{,}36\,P'_p\,[\text{kW}] = \frac{2\pi}{60\cdot 75}\,M_p n = \frac{M_p\,n}{716};$$

P'_p — sarcina de pornire, în kW, în funcție de M_p și n:

$$P'_p\,[\text{kW}] = \frac{75\,\text{g}}{1\,000}\,P_p\,[\text{CP}] = 0{,}736\,P_p\,[\text{CP}] = \frac{M_p\,n}{973};$$

P_n — sarcina nominală a motorului, în CP:

$$P_n\,[\text{CP}] = 1{,}36\,P'_n\,[\text{kW}];$$

P'_n — sarcina nominală a motorului, în kW;

$$P'_n\,[\text{kW}] = 0{,}736\,P_n\,[\text{CP}];$$

$Gd^2, G_1d_1^2, G_2d_2^2 \ldots$ — produsele greutății cu pătratul diametrului secțiunii, cuprinzînd centrul de greutate al fiecăreia din masele în rotație (momente giratorii), în kgm²;

G_l — greutatea masei care are o mișcare rectilinie, de exemplu greutatea ridicată de o macara, greutatea unui tren electric sau a apei dintr-o conductă, în kg;

v — viteza masei în mișcare rectilinie, după perioada de pornire, în m/s;

g — accelerația gravității terestre:

$$g = 9{,}81\ \text{m/s}^2;$$

t_p — durata perioadei de pornire, în s;

W_r — lucrul mecanic înmagazinat în masele în rotație, în kgm.

Momentul de inerție al maselor în rotație va fi:

$$\frac{G}{g}\,\frac{d^2}{4} = \frac{Gd^2}{39{,}24}\ [\text{kgm/s}^2],\ \text{respectiv}\ \frac{G_1}{g}\,\frac{d_1^2}{4} = \frac{G_1d_1^2}{39{,}24}. \tag{22.1}$$

Mai departe, accelerația unghiulară, în $\frac{1}{\text{s}^2}$, va fi:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega}{t_p} = \frac{2\,\pi\,n}{60\cdot t_p}. \tag{22.2}$$

În cazul unei mase în rotaţie fără mişcare rectilinie ($G_l = 0$), este valabilă relaţia:

$$(1-\beta)\, M_p = \frac{G}{g}\,\frac{d^2}{4}\,\frac{d\omega}{dt} = \frac{G}{g}\,\frac{d^2}{4}\,\frac{2\pi n}{60\, t_p};$$

$$t_p = \frac{Gd^2\, 2\pi n}{g\cdot 4\cdot 60\,(1-\beta)\, M_p} = \frac{\pi^2 Gd^2 n^2}{270\,000\, g\,(1-\beta)\, P_p\,[\mathrm{CP}]} = \frac{Gd^2 n^2}{268\,400\,(1-\beta)\, P_p\,[\mathrm{CP}]},$$

respectiv:

$$t_p = \frac{\pi^2 Gd^2 n^2}{3\,600\,000\,(1-\beta)\, P_p'\,[\mathrm{kW}]} = \frac{Gd^2 n^2}{364\,800\,(1-\beta)\, P_p'\,[\mathrm{kW}]}. \tag{22.3}$$

Dacă sînt mai multe mase care se rotesc cu viteze unghiulare diferite (dispozitive cu angrenaje, plăci turnante, macarale rotative etc.), rezultă:

$$t_p = \frac{Gd^2 n^2 + G_1 d_1^2 n_1^2 + \dots}{268\,400\,(1-\beta)\, P_p\,[\mathrm{CP}]} = \frac{\Sigma\,(Gd^2 n^2)}{364\,800\,(1-\beta)\, P_p'\,[\mathrm{kW}]}. \tag{22.4}$$

Dacă în afară de masele în rotaţie mai este şi o greutate care urmează a fi accelerată de la starea de repaus la viteza v, această greutate G_l este echivalentă unei greutăţi G_2, concentrată pe un cerc cu diametrul $d_2 = \frac{60\, v}{\pi n_2}$ şi animată de viteza periferică v, la viteza de rotaţie n_2. În acest caz:

$$G_2\, d_2^2\, n_2^2 = G_l \left(\frac{60\, v}{\pi n_2}\right)^2 = \frac{3\,600}{\pi^2}\, G_l v^2 = 364{,}8\, G_l v^2. \tag{22.5}$$

Din aceasta se obţine durata pornirii:

$$t_p = \frac{\Sigma\,(Gd^2 n^2) + 364{,}8\, G_l v^2}{268\,400\,(1-\beta)\, P_p\,[\mathrm{CP}]} = \frac{\Sigma\,(Gd^2 n^2) + 364{,}8\, G_l v^2}{364\,800\,(1-\beta)\, P_p'\,[\mathrm{kW}]}. \tag{22.6}$$

Dacă sînt în joc numai mase în mişcare rectilinie, se obţine:

$$t_p = \frac{G_l v^2}{75\, g\,(1-\beta)\, P_p\,[\mathrm{CP}]} = \frac{G_l v^2}{736\,(1-\beta)\, P_p\,[\mathrm{CP}]} = \frac{G_l v^2}{1\,000\,(1-\beta)\, P_p'\,[\mathrm{kW}]}. \tag{22.7}$$

Energia de pornire şi energia pierdută în rezistenţa de pornire. Pentru $\beta = 0$ şi în cazul maselor în mişcare rectilinie, reţeaua electrică va trebui să furnizeze, în perioada de pornire, o energie $2\, W_l$ [kgm], pentru accelerare şi pierderi în rezistenţa de pornire:

$$2\, W_l = 75\, t_p\, P_p\,[\mathrm{CP}] = \frac{1000}{g}\, t_p\, P_p'\,[\mathrm{kW}] = 102\, t_p\, P_p\,[\mathrm{kW}] = \frac{G_l v^2}{g}.$$

Aceasta reprezintă o energie de două ori mai mare decît energia cinetică, căpătată de masele în mişcare, energie avînd expresia $W_l = \frac{1}{2}\frac{G_l v^2}{g}$. Cealaltă jumătate din energia $2W_l$ se pierde în rezistenţa de pornire. (În sistemul generator-motor, din contră, energia absorbită de la reţea este egală cu jumătate din cea absorbită, conform celor de mai sus, deoarece P_p [CP] respectiv P_p [kW] sînt variabile şi cresc progresiv de la 0 pînă la P_p [CP] respectiv P_p' [kW]).

Energia înmagazinată în masele în rotaţie va fi notată cu W_r şi va avea valoarea:

$$W_r = \frac{1}{2}\,\frac{Gd^2}{4\, g}\,\omega^2 = \frac{Gd^2 n^2}{7156}\,[\mathrm{kgm}], \tag{22.8}$$

de unde energia totală înmagazinată de masele respective, va fi:

$$W_p = W_r + W_l = \frac{\Sigma\,(Gd^2 n^2)}{7156} + \frac{G_l v^2}{19{,}62}\,[\mathrm{kgm}]. \tag{22.9}$$

Energia consumată la pornire este reprezentată de produsul $t_p P_p$ [CPs], respectiv $t_p P_p'$, [kWs].

Energia $\frac{1}{2}\, t_p P_p$ [kWs] va fi consumată în rezistenţa de pornire, iar o energie egală cu aceasta va fi transformată de motor în lucru mecanic.

Energia totală consumată la pornire va fi:

$$t_p P_p' = \frac{\Sigma\,(Gd^2 n^2) + 364{,}800\, G_l v^2}{364{,}800\,(1-\beta)}\,[\mathrm{kWs}]. \tag{22.10}$$

Dar: 1 CPs = 75 kgm $= \frac{75}{428}$ kcal = 0,175 kcal,

sau:

$$1\ \mathrm{kWs} = \frac{1\,000}{9{,}81}\ \mathrm{kgm} = \frac{1\,000}{9{,}81\cdot 428}\ \mathrm{kcal} = 0{,}238\ \mathrm{kcal}.$$

Rezultă valoarea energiei consumate în rezistenţa de pornire:

$$\frac{1}{2}\, t_p\, P_p\,[\mathrm{CP}] = \frac{0{,}175}{2}\cdot\frac{\Sigma\,(Gd^2 n^2) + 364{,}8\, G_l v^2}{268\,400\,(1-\beta)}\,[\mathrm{kcal}], \tag{22.11}$$

sau:

$$\frac{1}{2}\, t_p P_p'\,[\mathrm{kW}] = \frac{0{,}238}{2}\cdot\frac{\Sigma\,(Gd^2 n^2) + 364{,}8\, G_l v^2}{364\,800\,(1-\beta)}\,[\mathrm{kcal}]. \tag{22.12}$$

Exemple de calcul. 1. Un pod rulant cîntăreşte împreună cu sarcina sa utilă 20 000 kg şi urmează a se deplasa cu 2m/s; fie $P_p' = 20$ kW; $1-\beta = 0{,}8$; $Gd^2 = 10$ kgm², iar viteza motorului $n = 800$ rot/min.

Suma maselor în rotaţie a fost înglobată în valoarea Gd^2n^2.

Din formula (22.6) de mai sus, rezultă:

$$t_p = \frac{10\cdot 640\,000 + 364{,}8\cdot 20\,000\cdot 4}{364\,800\cdot 0{,}8\cdot 20} = \frac{6\,400\,000 + 29\,180\,000}{5\,840\,000} = 6{,}1\ \mathrm{s}.$$

2. Un grup convertizor cu volant, făcînd 300 rot/min, se compune dintr-un motor de 400 kW, avînd momentul giratoriu $G_1 d_1^2 = 700$ kgm², un generator de curent continuu de 700 kW cu $G_2 d_2^2 = 1\,300$ kgm² şi un volant de 40 000 kg, avînd un diametru al secţiunii centrului de greutate al volantului de 5 m, deci $G_3 d_3^2 = 40\,000 \cdot 25 = 1\,000\,000$ kgm². Grupul va fi pornit cu un cuplu corespunzător puterii motorului (400 kW) şi cu $(1-\beta) = 0{,}8$. Rezultă timpul de pornire din relaţia (22.6):

$$t_p = \frac{1\,002\,000\cdot 90\,000}{364\,800\cdot 0{,}8\cdot 400} = 774\ \mathrm{s} = 12\ \mathrm{min},\ 54\ \mathrm{s}.$$

În tabela 4 se dau, pentru o serie de motoare curente, puterile nominale, numărul de rotații maxim uzuale, mărimile Gd^2 precum și timpul de pornire cel mai scurt necesar la un cuplu corespunzător puterii nominale respective, pentru accelerarea masei proprii a motorului și cu $(1 - \beta) = 0{,}8$, adică avînd frecări la mers în gol de 20 % din puterea de pornire.

Tabela 4. Caracteristicile mecanice ale motoarelor

Regimul de funcționare	Puterea P kW	Turația n rot/min	Mărimea Gd^2 a rotorului kgm²	Timpul de pornire minim s
În regim intermitent	4,6	1 180	0,75	0,78
	8,5	1 110	1,6	0,77
	13,2	1 000	3,2	0,84
	19	885	6,4	0,91
	28	800	11,7	0,93
	39	740	20	0,97
	53	690	32	0,99
	71	635	47	0,92
În regim constant	250	450	450	1,26
	350	370	750	1,01
	500	340	1 300	1,03
	580	270	4 000	1,48
	920	200	8 500	1,28
	1 020	150	13 500	1,02
	1 280	135	30 000	1,47
	1 580	105	65 000	1,56
	1 940	85	125 000	1,60

Se vede că aceste timpuri de pornire sînt cuprinse între 0,78 și 1,6 s, fiind astfel destul de apropiate, cu toate că puterile sînt foarte diferite (4,6 – 1940kW). Diferențele între timpurile de pornire ar fi și mai mici, dacă pentru prima grupă de motoare pînă la 71 kW, puterile pentru regim intermitent ar fi înlocuite cu puterile pentru regim permanent, care sînt aproximativ jumătate din cele dintîi și care ar da timpuri de pornire egale cu dublul celor arătate în această grupă.

În tabela 5 se dau aceleași date pentru o serie de motoare de fabricație modernă sovietică.

Cifrele în paranteză reprezintă datele pentru același motor, dar construit pentru o viteză de rotație diferită de aceea a motorului de bază.

Se vede că duratele perioadei de pornire sînt cuprinse, în general, în limitele din tabela 4.

În general, masele mașinilor cuplate cu motorul sînt cu mult

Tabela 5. Caracteristicile mecanice ale motoarelor sovietice

Puterea P kW	Turația n rot/min	Mărimea Gd^2 a rotorului kgm²	Timpul de pornire normal s
3,7	2 800	0,13	0,755
5,3	2 800	0,23	0,892
7,0	2 500	0,28	0,685
(2,5)	980		(0,295)
10	2 200	0,5	0,675
(3,7)	(1 000)		(0,37)
9,8	1 500	0,64	0,403
16,2	1 285	2,35	0,65
22	960	4,0	0,46
30	980	4,8	0,422
(74)	(1 430)	10,1	(0,765)
46	940		0,53
75	920	25,6	0,792
(40)	(590)	24,4	(0,584)
(200)	(1 140)	61,4	(1,09)
118	750	59,3	0,745

mai mari, în consecință, și timpii de pornire devin importanți, astfel încît, în multe cazuri, influența masei proprii a motorului este neglijabilă.

23. **Pornirea în gol a convertizoarelor fără volant.** Pentru grupuri convertizoare mari fără volant special s-ar obține reostate de pornire de tip foarte mare, dacă s-ar considera la calculul reostatului puterea motorului sau chiar suma puterilor mașinilor cuplate. Pentru astfel de grupuri convertizoare, care pornesc în gol, este foarte important a se lua în considerare cuplul de pornire din starea de repaus. Acesta crește simțitor după o oprire de lungă durată, deoarece uleiul este eliminat dintre arbore și lagăre. Coeficientul de frecare în lagăre este cuprins între 0,1 și 0,3 (în cazuri cu totul defavorabile s-a constatat că se ridică pînă la 0,4). Totodată cuplul de pornire nu poate fi determinat decît în mod aproximativ, într-un asemenea caz.

În condiții favorabile de pornire (montaj corect, personal calificat, pornire în gol), se poate determina cuplul de pornire M_p [kgm], aplicîndu-se următoarea formulă:

$$M_p = \gamma \sqrt{\left(\frac{G_1}{1\,000}\right)^3} + \gamma \sqrt{\left(\frac{G_2}{1\,000}\right)^3} + \ldots,$$

în care G_1, G_2 sînt greutățile, în kg, ale maselor în rotație ale fiecărei mașini inclusiv arborele, care este în general de circa 25 % din greutatea rotorului, γ fiind un coeficient care are următoarele valori:

$$\text{pentru } G \leq 1\,500 \text{ kg} \qquad \gamma = 15;$$

$$\text{pentru } G > 1\,500 \text{ kg} \qquad \gamma = 11.$$

Valoarea mai mare a coeficientului γ pentru mașinile mici se datorește supradimensionării uzuale a arborilor acestor mașini, pentru a rezista la efortul din curea.

După formulele de mai sus, va rezulta:

$\gamma = 15$:

G =	250	500	750	1 000	1 250	1 500 kg;	
M_p =	1,4	3,9	9,7	15	21	28 kgm,	

$\gamma = 11$:

G =	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000	6 000	7 000	8 000 kg.
M_p =	31	43	57	72	88	105	123	162	204	240 kgm
G =	9 000	10 000	12 000	14 000	16 000	18 000	20 000 kg;			
M_p =	297	348	457	576	704	840	984 kgm.			

Cînd mai multe mașini sînt cuplate, urmează a aduna valorile M_p. O mașină cu trei lagăre se va trata ca două mașini avînd fiecare două lagăre.

Puterea de pornire va fi:

$$P_p = \frac{n \sum M_p}{716} \text{ [CP] sau } P_p' = \frac{n \sum M_p}{973} \text{ [kW]}.$$

Dacă reostatul a fost calculat după formulele de mai sus, va trebui să se verifice dacă contactele de pe ultima poziție (de mers permanent) a reostatului, au fost suficient dimensionate pentru a suporta curentul de plină sarcină al grupului convertizor respectiv.

În cazul cînd această condiție nu este satisfăcută, se prevăd fie contacte finale întărite, fie un comutator suplimentar de scurtcircuitare în paralel cu reostatul, iar în cazul motoarelor trifazate, un dispozitiv special de scurtcircuitare a rotorului. Aceste măsuri nu mai sînt necesare în cazul motoarelor asincrone, dacă acestea sînt prevăzute cu dispozitive de scurtcircuitare a inelelor și de ridicare a periilor.

Pentru grupurile convertizoare fără volant, se poate lua, în general, un timp de pornire cuprins între 10 și 60 s.

Aplicînd formulele de mai sus, se pot stabili de asemenea condițiile de pornire ale motoarelor de lansare ale mașinilor sincrone. Reostatele de pornire ale acestora se dimensionează pentru plină sarcină și se construiesc, în general, cu rezistențe metalice în ulei sau cu rezistențe lichide.

Reostatele de reglaj ale acestor motoare, care au o funcționare scurtă, limitată la perioada de sincronizare, pot fi calculate, în general, pentru jumătate de sarcină, deoarece permit o supraîncărcare de 100% pentru această perioadă.

În cazul unui generator de curent continuu, care pornește prin intermediul unei baterii de acumulatoare un motor cu explozie, ultimul antrenînd în mod normal generatorul, cuplul de pornire și durata acestuia trebuie să fie specificate de constructorul motorului cu explozie.

24. **Condiții electrice.** Dat fiind că motoarele în stare de repaus nu posedă f.c.e.m., iar rezistența lor proprie are o valoare foarte mică, în cazul cînd motoarele ar fi conectate direct la tensiunea nominală, fără a se lua alte măsuri, curentul la pornire ar fi considerabil și ar putea deteriora motoarele sau transmisiile, prin cuplul considerabil aplicat acestora. Pentru a preveni aceste efecte, motoarele mai mari se pornesc cu ajutorul reostatelor de pornire, ale căror rezistențe se reduc progresiv, pînă la scurtcircuitarea totală a acestora, la sfîrșitul perioadei de pornire. În cazul motoarelor de curent continuu, reostatele se conectează în circuitul indusului, iar în cazul motoarelor asincrone trifazate ele se introduc, prin intermediul inelelor, în circuitul rotorului.

Reostatele lichide permit o reducere continuă a rezistenței, pe cînd în cazul reostatelor metalice cu ploturi, rezistența este scoasă din circuit în trepte. Treptele de reducere ale rezistenței, în cazul reostatelor cu ploturi — cu excepția așa numitelor trepte de pregătire — trebuie astfel alese, ca la trecerea de pe un plot pe cel următor, variațiile curentului să rămînă între limite bine stabilite.

Treptele de pregătire au ca scop să reducă scînteile în momentul conectării sau deconectării și — în special la motoarele de putere mare — să încarce rețeaua treptat și să prevină variații sensibile de tensiune în rețea. Aparatele de pornire care nu posedă dispozitive speciale pentru stingerea scînteilor care au loc la închiderea circuitului, trebuie să ia pe primul contact o sarcină mai mică decît acelea care sînt prevăzute cu stingerea scînteilor. Aparatele de pornire pentru motoarele de putere mare sînt prevăzute cu astfel de dispozitive, cel puțin pe primul contact.

Numărul treptelor de pregătire și pornire este stabilit pentru uzul general de tabelele 6 și 7.

Treptele de pregătire vor fi astfel calculate, ca intensitatea, respectiv sarcina trecută prin ele, să crească cu cantități egale de la treaptă la treaptă. Motorul trebuie să se pună imediat în mișcare, cînd maneta reostatului este pe primul plot.

Puterea de rupere pe treptele de pornire poate fi luată cu mult mai mare decît cea specificată la § 11, deoarece întreruperea se face prin trecerea de pe un contact pe următorul, încet și treptat.

Tabela 6. Normele de pornire pentru motoare de curent continuu cu excitație derivație.

Puterea motorului, kW	1,5	2,2	3,1	4,4	6,2	8,8	12,5	17,5	25	35	50	75	100
Căderea relativă de tensiune	0,176	0,176	0,176	0,148	0,148	0,113	0,113	0,096	0,096	0,0904	0,0904	0,073	0,073
Durata pornirii, s	6	7	7	8	9	10	11	12	14	16	18	21	24
Numărul minim al treptelor de pornire	4	4	4	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10
Numărul minim al treptelor de pregătire	—	—	—	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3
Raportul curentului de comutare față de curentul normal	—	—	—	1,15	0,89	0,76	0,74	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67

Tabela 7. Normele de pornire pentru motoare asincrone trifazate cu rotorul bobinat.

Puterea motorului, kW	1,5	2,2	3,1	4,4	6,6	8,8	12,5	17,5	25	35	50	70	100
Căderea relativă de tensiune pe fază, în rotor	0,176	0,176	0,176	0,148	0,148	0,113	0,113	0,096	0,096	0,0904	0,0904	0,073	0,073
Durata pornire, s	6	7	8	8	9	10	11	12	14	16	18	21	24
Numărul minim al treptelor de pornire	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7
Numărul minim al treptelor de pregătire	—	—	—	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
Raportul curentului de comutare față de curentul normal în rotor	—	—	—	1,15	1,15	1,02	1,02	0,9	0,9	0,78	0,78	0,67	0,75

Scoaterea din circuit a unui motor de curent continuu, cu excitaţie derivaţie în mers normal, se face aproape fără scîntei; la scoaterea din circuit a unui motor asincron trifazat se produc scîntei foarte mici, pe cînd atunci cînd se întrerupe un motor de curent continuu cu excitaţie serie, inductanţa proprie a acestuia dă loc la scîntei mult mai mari.

Cînd se întrerupe circuitul unui motor pus sub sarcină, dar care stă pe loc (nu a pornit), scînteile devin foarte importante şi periculoase.

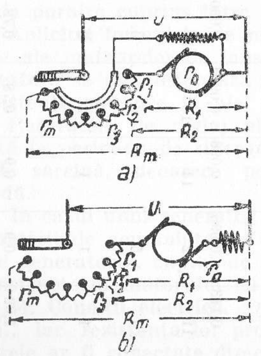


Fig. 42. — Reostat de pornire: *a* — pentru un motor de curent continuu derivaţie; *b* — pentru un motor de curent continuu serie.

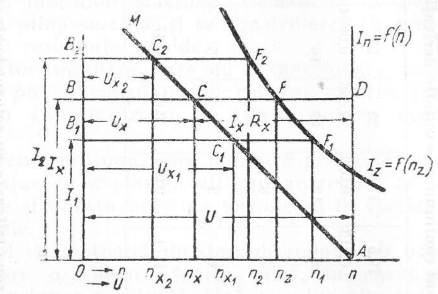


Fig. 43. — Variaţia curentului şi cuplului de pornire în funcţie de viteză.

25. Reostate de pornire pntru motoare de curent continuu, generalităţi.

(v. vol. II, pag. 365—370, § 49). În fig. 42 este reprezentată schema unui reostat de pornire pentru un motor de curent continuu, cu excitaţie derivaţie (*a*) şi cu excitaţie serie (*b*), iar fig. 43—47 se referă la pornirea acestora.

Se adoptă următoarele notaţii:

U — tensiunea reţelei, în V;

I — curentul nominal, adică intensitatea curentului absorbit de motor la plină sarcină, în A;

I_1 — curentul de comutare de la un plot la plotul următor, adică intensitatea minimă pe care trebuie s-o atingă curentul înainte ca treapta următoare să fie scurtcircuitată, în A;

I_2 — curentul de vîrf la pornire, adică intensitatea maximă pe care o atinge curentul în momentul scurtcircuitării unei trepte, în A;

$I_m = \sqrt{I_1 I_2}$ — curentul mediu de pornire, respectiv curentul care determină calculul accelerării rotorului (fig. 45);

r_0 — rezistenţa motorului în Ω, compusă din:
rezistenţa indusului pentru motoarele derivaţie;
rezistenţa indusului împreună cu rezistenţa înfăşurării inductoarelor serie, la motoarele serie, adăugîndu-se în ambele cazuri rezistenţele conductorilor de legătură, contactelor etc.;

$$\alpha = \frac{r_0 I}{U} = \frac{\text{căderea de tensiune în rotor pentru curentul nominal}}{\text{tensiunea reţelei}} < 1;$$

$\beta = \frac{I_2}{I} > 1$ — raportul dintre curentul de vîrf la pornire şi curentul nominal;

$\gamma = \frac{I_m}{I} > 1$ — raportul ce caracterizează regimul de pornire;

$\lambda = \frac{I_2}{I_1} > 1$ — raportul dintre curentul de vîrf la pornire şi curentul de comutare (trecere) de la un plot la plotul următor;

$\mu = \frac{n_1}{n_2} > 1$ — raportul dintre turaţii la un motor serie pentru I_1, respectiv I_2;

n — turaţia normală, în rot/min, a unui motor derivaţie (aproape independentă de sarcină);

$n_1, n_2, \ldots, n_x$ — turaţiile unui motor serie absorbind intensităţile I_1, I_2, ..., I_x şi avînd reostatul de pornire scos din funcţiune (scurtcircuitat);

$r_1, r_2, r_3, \ldots, r_m$ — rezistenţele fiecărei trepte a reostatului de pornire, r_1 fiind treapta adiacentă plotului de scurcircuitare;

$$\left.\begin{aligned} R_1 &= r_0 + r_1 \\ R_2 &= r_0 + r_1 + r_2 \\ R_3 &= r_0 + r_1 + r_2 + r_3 \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \\ R_m &= r_0 + r_1 + r_2 + r_3 + \ldots + r_m \end{aligned}\right\}$$ — rezistenţele totale, în Ω, corespunzătoare circuitului rotoric pe treptele consecutive ale reostatului de pornire;

U_x, n_x, R_x — tensiunea, turaţia motorului şi rezistenţa totală în circuitul rotorului acestuia, la un moment oarecare cînd motorul absoarbe curentul I_x;

m — numărul treptelor reostatului;

$m+1$ — numărul de contacte sau poziţii ale reostatului.

Conform fig. 43, este valabilă, în general, relaţia:

$$U = U_x + I_x R_x = \overline{BC} + \overline{CD};$$

$$U_x = U - I_x R_x.$$

Considerînd pe I_x şi U_x variabile, I_x va scădea liniar cu R_x, după dreapta MA, cînd U_x creşte, şi acest raport este valabil pentru orice dreaptă pornind din A, cu condiţia ca $\overline{OA} = U$.

Pentru motorul derivaţie, atunci cînd rezistenţa de pornire este scurtcircuitată, turaţia n este aproape independentă de I_n (corespunzînd turaţiei critice). $I_n = f(n)$ este, prin urmare, o dreaptă AD, aproape perpendiculară pe OA, iar forţa contraelectromotoare a motorului U_x devine:

$$U_x = \frac{n_x}{n} U. \tag{25.1}$$

În consecinţă, porţiunea $\overline{BC}$ reprezintă totodată turaţia n_x, la altă scară.

Pentru motorul serie, din contră, atunci cînd rezistenţa de pornire este scurtcircuitată, turaţia, variabilă în acest caz, este dată de $n_z = \overline{BF}$, iar func-

ția $I_z = f(n_z)$ devine o curbă; pentru curenții I_1, respectiv I_2, f.c.e.m. ale motorului vor fi U_{x1} și U_{x2} și dacă se însemnă turațiile, cu rezistența de pornire scurtcircuitată, cu n_1 pentru I_1 și n_2 pentru I_2, rezultă:

$$U_{x1} = \frac{n_{x1}}{n_1} U; \quad U_{x2} = \frac{n_{x2}}{n_2} U. \tag{25.2}$$

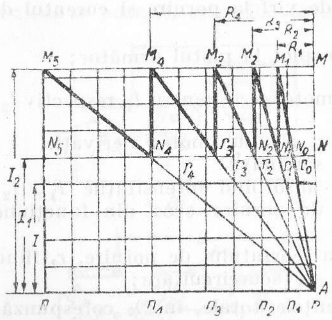


Fig 44.—Împărțirea grafică în trepte a reostatului de pornire pentru un motor de curent continuu derivație.

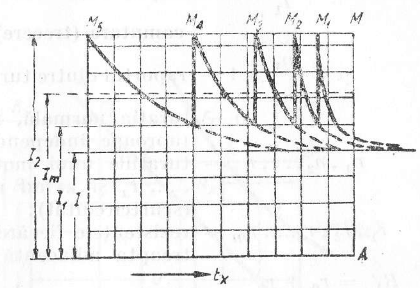


Fig. 45. — Variația curentului funcție de timp în reostatul de pornire la motorul de curent continuu derivație.

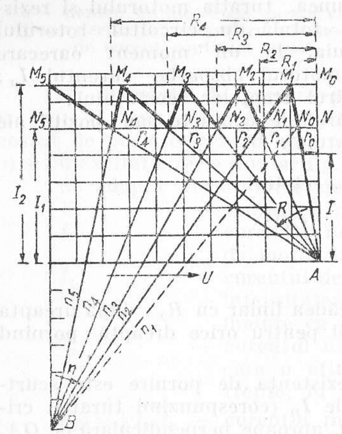


Fig. 46.—Împărțirea grafică în trepte a reostatului de pornire pentru un motor de curent continuu serie.

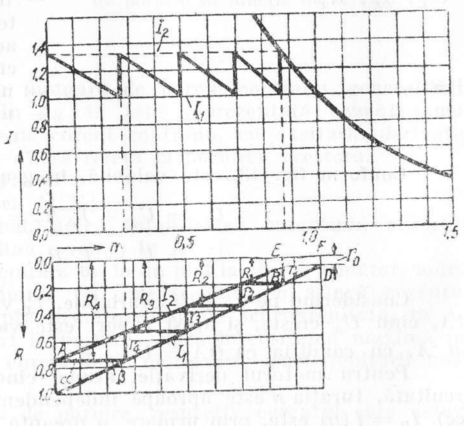


Fig. 47. — Variația curentului și rezistenței funcției de viteză în reostatul de pornire la motorul de curent continuu serie.

$\overline{BC}$, respectiv $\overline{B_1C_1}$, $\overline{B_2C_2}$ vor reprezenta, deci, turațiile și în cazul motorului serie, dacă se iau ca unitate turațiile n_z, n_1, n_2, corespunzătoare intensităților I_x, I_1, I_2, la $R = 0$.

În fig. 44—47 se reprezintă grafic, pe baza acelorași considerații, calculul unui reostat de pornire cu patru trepte pentru un motor derivație (fig. 44, 45) și pentru un motor serie (fig. 46, 47); I_1 a fost luat în toate cazurile de aceeași mărime.

În ceea ce privește regimul de pornire, caracterizat prin raportul $\gamma = \frac{I_m}{I}$, se iau, în mod obișnuit, valorile din tabela 8 pentru diversele tipuri de construcție ale reostatelor.

Tabela 8. Regimul de pornire în funcție de construcția reostatelor

Tipul de construcție al reostatului	Regimul de pornire γ		
	Normal Pornire la 1/1 sarcină	Ușor Pornire la 1/2 sarcină	Greu Pornire cu cuplu mare
Tipul normal format plan cu ploturi fixe și perii mobile	1,3	0,65	1,7
Tip controler format cilindric și perii fixe	1,5	0,75	2,0

Pentru antrenarea diverselor agregate, se recomandă ca electromotoarele și reostatele de pornire să fie dimensionate în conformitate cu regimul de pornire arătat în tabela 9.

Tabela 9. Regimul de pornire în funcție de agregatele acționate

Felul agregatelor acționate de electromotoare	Regimul de pornire [1])	γ
Mașini de tipar	Normal	1,25
Compresoare și pompe cu piston:		
a) pornire cu contrapresiune	Greu	1,5 —2
b) pornire fără contrapresiune	Ușor și normal	0,5 —1,25
Ferăstraie circulare și bandă	Ușor și normal	0,75—1,25
Transportoare	Normal și greu	1,25—1,75
Transmisii:		
a) cu un număr mic de roți și lagăre	Ușor și normal	0,75—1,25
b) cu un număr mare de roți și lagăre	Normal și greu	1,25—2
Ventilatoare	Ușor	0,6 —1
Foarfece și prese cu volant	Greu	1,75—2
Pompe centrifuge	Greu	1,75—2

[1]) Pentru regimul de pornire și construcția motoarelor mici de curent continuu, care urmează a fi pornite prin conectare directă în cadrul unor sisteme de comandă automată, se va consulta:

N. P. Ermolin, *Bezreostatnîi pusk malomașcinîh șuntovîh elektrodvigatelei postoianogo toka v avtonomnîh ustanovkah.* Elektricestvo. 1/1950.

26. Reostate de pornire pentru motoare de curent continuu derivație.

Variația curentului a fost reprezentată, în funcție de turație, în fig. 44, iar în fig. 45, în funcție de timpul t_x.

În primul caz, curentul variază pe porțiuni de drepte care se intersectează în punctul A, iar în al doilea caz variază pe porțiuni de curbe exponențiale asimptote la orizontala curentului nominal I.

La început, motorul va fi conectat la rețea, circuitul indusului avînd o rezistență totală:

$$R_4 = \frac{U}{I_2}; \tag{26.1}$$

în consecință se va stabili în circuit un curent I_2 (fig. 44).

Imediat ce motorul se pune în mișcare, f.c.e.m. a motorului crește după dreapta M_5A pînă cînd turația sa atinge valoarea $N_5N_4 = n_4$; în același timp, curentul scade pînă la valoarea I_1, iar căderea de tensiune în rezistența R_4 se reduce la N_4N. În acest moment se va scurtcircuita treapta $r_4 = N_4N_3$, iar curentul va crește din nou, atingînd valoarea I_2, presupunînd că rezistențele R_4 și R_3 sînt în același raport ca tensiunile M_5M_0 și M_4M_0, pe care trebuie să le absoarbă. Rezistența R_3 și căderea de tensiune M_4M_0 se vor comporta în această situație la fel ca R_4 și M_5M_0 în primul caz. Intensitatea va scădea și f.c.e.m. a motorului va crește din nou după dreapta M_4N_3 și așa mai departe pînă la scurtcircuitarea totală a rezistenței de pornire cînd variația curentului va fi după dreapta M_1N_0, în care caz în circuitul indusului rămîne numai rezistența interioară a acestuia (inclusiv rezistența conductelor și a contactelor).

Treptele au rezistențe din ce în ce mai mici, pe măsura apropierii de poziția de scurtcircuit. Ultima treaptă este, în general, mai mică decît rezistența indusului r_0 și numai în cazul cînd $I_2 \geqq 2I_1$ va rezulta $r_1 \geqq r_0$.

Se vede ușor că:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_4N}{N_3N} = \frac{N_3N}{N_2N} = \frac{N_2N}{N_1N} = \frac{N_1N}{N_0N}$$

și:

$$\frac{I_2}{I} = \frac{N_4N_3}{N_3N_2} = \frac{N_3N_2}{N_2N_1} = \frac{N_2N_1}{N_1N_0},$$

sau:

$$\frac{I_2}{I_1} = \lambda = \frac{R_4}{R_3} = \frac{R_3}{R_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_1}{r_0}$$

și:

$$\frac{I_2}{I_1} = \lambda = \frac{r_4}{r_3} = \frac{r_3}{r_2} = \frac{r_2}{r_1},$$

de unde:

$$r_1 = R_1 - r_0 = (\lambda - 1)\, r_0 \qquad R_1 = r_0 + r_1 = \lambda r_0;$$

$$r_2 = \lambda r_1 \qquad R_2 = \lambda R_1 = \lambda^2 r_0;$$

și:

$$r_3 = \lambda r_2 = \lambda^2 r_1 \qquad R_3 = \lambda R_2 = \lambda^3 r_0;$$

$$r_4 = \lambda r_3 = \lambda^3 r_1 \qquad R_4 = \lambda R_3 = \lambda^4 r_0 = \frac{U}{I_2}.$$

Dacă m este numărul de trepte, va rezulta, în general:

$$R_m = \lambda^m r_0 = \frac{U}{I_2}; \quad \lambda^m = \frac{U}{I_2 r_0} = \frac{1}{\alpha\beta}; \quad r_m = \lambda^{m-1} r_1;$$

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{R_m}{r_0}} = \sqrt[m]{\frac{U}{I_2 r_0}} = \sqrt[m]{\frac{1}{\alpha\beta}};$$

$$m = \frac{\lg \frac{R_m}{r_0}}{\lg \lambda} = \frac{\lg \frac{U}{I_2 r_0}}{\lg \lambda} = \frac{\lg \frac{1}{\alpha\beta}}{\lg \lambda}.$$

Se poate deci calcula m dacă se dă λ și invers. În primul caz, va fi necesar să se varieze puțin coeficientul λ, pentru a obține m număr întreg.

În cele ce preced, s-a presupus $\frac{I_2}{I} = \beta$, cunoscut.

Dacă, din contra, se presupune cunoscut $\frac{I_m}{I} = \gamma$, adică regimul de pornire, va rezulta:

$$\frac{I_2}{I_1} = \lambda \text{ și}: \frac{I_m}{I_1} = \frac{I_2}{I_m} = \sqrt{\lambda};$$

deci:

$$\lambda^m = \frac{U}{I_2 r_0} = \frac{U}{I r_0}\frac{I}{I_m}\frac{I_m}{I_2} = \frac{1}{\alpha\gamma\sqrt{\lambda}},$$

de unde:

$$\lambda^{(m+0,5)} = \frac{1}{\alpha\gamma}; \quad \lambda = \left(\frac{1}{\alpha\gamma}\right)^{\frac{1}{m+0,5}}; \quad m = \frac{\lg \frac{1}{\alpha\gamma}}{\lg \lambda} - 0,5;$$

$$\frac{I_2}{I} = \frac{I_m}{I}\frac{I_2}{I_m} = \gamma\sqrt{\lambda} = \gamma\left(\frac{1}{\alpha\gamma}\right)^{\frac{1}{2m+1}};$$

$$\frac{I_1}{I} = \frac{I_m}{I}\frac{I_1}{I_m} = \frac{\gamma}{\sqrt{\lambda}} = \gamma\,(\alpha\gamma)^{\frac{1}{2m+1}}.$$

Se vede că atît rezistențele totale $R_1, R_2, \ldots, R_m$, cît și rezistențele fiecărei trepte $r_1, r_2, \ldots, r_m$ *formează o progresie geometrică.*

Pentru calculul acestora este avantajos a se lua ca unitate valoarea $R_m = \frac{U}{I_2}$, care este așa numită rezistență aparentă a motorului pentru curentul absorbit I_2, iar rezistența indusului r_0 să fie luată în procente din această rezistență aparentă. În fig. 44–47, rezistența indusului a fost luată egală cu 8% din rezistența aparentă a motorului $\frac{U}{I_2}$ [1]), astfel încît $\frac{U}{I_2 r_0} = \frac{1}{0,08} = 12,5$.

[1]) Valoarea aceasta este, în general, cam mare pentru un motor derivație, dar este apropiată de cea valabilă în cazul unui motor serie.

La început, însă, motorul are de învins frecări mai mari, datorite plecării din repaus și, deci, la începutul perioadei de pornire, are un regim mai greu, pe cînd spre sfîrșitul perioadei de pornire va avea un regim mai ușor, și deci, și un curent mediu de pornire mai mic. Pentru a compensa această variație a regimului în perioada de pornire, cel mai simplu este de a lua în calcule o rezistență a indusului ceva mai mare decît rezistența reală a acestuia.

În exemplul luat, va rezulta:

$$\lambda = \sqrt[4]{12,5} = 1,88;$$

$$r_0 = \ \ 8\,\% \text{ din } \frac{U}{I_2} : \qquad r_0 = \ \ 8\,\% \text{ din } \frac{U}{I_2} :$$

$$R_1 = 15,1\,\% \text{ din } \frac{U}{I_2} : \qquad r_1 = \ \ 7,1\,\% \text{ din } \frac{U}{I_2} :$$

$$R_2 = 28,3\,\% \text{ din } \frac{U}{I_2} : \qquad r_2 = 13,2\,\% \text{ din } \frac{U}{I_2} :$$

$$R_3 = 53,2\,\% \text{ din } \frac{U}{I_2} : \qquad r_3 = 24,9\,\% \text{ din } \frac{U}{I_2} :$$

$$R_4 = 100\,\% \text{ din } \frac{U}{I_2} : \qquad r_4 = 46,8\,\% \text{ din } \frac{U}{I_2} .$$

$$\text{În total: } R_4 = 100\,\% \text{ din } \frac{U}{I_2} .$$

27. **Reostate de pornire pentru motoare de curent continuu serie.** Pentru calcularea rezistențelor de pornire pentru motoare serie, se indică două metode, arătate în fig. 46 și 47:

α) *În prima metodă* (fig. 46) motorul se va conecta la pornire cu o rezistență totală R_4 în circuit, aleasă astfel încît curentul în primul moment să fie I_2; după ce motorul pornește, f.c.e.m. a motorului crește progresiv de la 0 la valoarea N_5N_4, pe cînd căderea de tensiune în rezistență scade de la valoarea $M_5M_0 = U$ la N_4N, iar intensitatea curentului va scădea dela I_2 la I_1. Dacă în acest moment treapta r_4 va fi scurtcircuitată, intensitatea curentului va crește din nou la valoarea I_2. În acest moment și f.c.e.m. a motorului serie, la turație constantă, va crește dela $N_5 N_4$ la $M_5 M_4$ și conform formulei (25.2) § 25, f.c.e.m. va fi:

$$N_5N_4 = \frac{n_x}{n_1} U \text{ și : } M_5 M_4 = \frac{n_x}{n_2} U;$$

va rezulta deci:

$$\frac{M_5M_4}{N_5N_4} = \frac{n_1}{n_2} = \mu \quad (\mu > 1)\ [1].$$

Se ia deci un punct B astfel ca $\frac{BM_5}{BN_5} = \frac{n_1}{n_2} = \mu$, iar punctele $N_4\ M_4$, $N_3\ M_3$, N_2M_2 etc., se găsesc pe un fascicol de drepte concurente în punctul B

[1]) În locul turațiilor n_1, n_2, se mai obișnuește a se întrebuința în calcule fluxurile Φ_1, Φ_2, rezultînd:

$$U = n_1\,\Phi_1 = n_2\,\Phi_2;\ \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{\mu}$$

și:

$$N_5N_4 = n_5\,\Phi_1;\ M_5M_4 = n_5\,\Phi_2;\ \frac{M_5M_4}{N_5N_4} = \frac{\Phi_2}{\Phi_1} = \mu.$$

Întrebuințarea vitezelor n_1, n_2 în locul fluxurilor Φ_1, Φ_2 este mai convenabilă, deoarece n_1, n_2 pot fi apreciate direct chiar pe caracteristică.

fiecare din aceste drepte corespunzînd respectiv turațiilor n_5; n_4, n_3, n_2, n_1. Pe de altă parte, conform fig. 44, pentru $R=$const., f.c.e.m. a motorului serie crește după dreptele $M_5\,A$, $M_4\,A$, M_3A etc. Prin urmare, f.c.e.m. va crește conform liniei frînte $M_5\,N_4$, M_4N_3 . . . care se va construi pe două fascicole de drepte concurente în punctele A și B. Mai departe va rezulta:

$$\frac{n_1}{n_2} = \mu = \frac{M_4M_3}{N_4N_3} = \frac{M_3\,M_2}{N_3\,N_2} = \frac{M_2\,M_1}{N_2\,N_1}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \lambda = \frac{M_4M_3}{N_3\,N_2} = \frac{M_3\,M_2}{N_2\,N_1} = \frac{M_2\,M_1}{N_1\,N_0} = \frac{M_1\,M_0}{N_0\,N}$$

în care:

$$\lambda > 1.$$

Dacă $N_4N_3 = r_4$, $N_3N_2 = r_3$, $N_2N_1 = r_2$, $N_1N_0 = r_1$ și $N_0N = r_0$, din cele două ecuații de mai sus se deduce:

$$\frac{\lambda}{\mu} = \frac{r_4}{r_3} = \frac{r_3}{r_2} = \frac{r_2}{r_1};$$

$$r_2 = \frac{\lambda}{\mu}\, r_1;\ r_3 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 r_1;\ r_4 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3 r_1;$$

$$R_4 = \frac{U}{I_2} = r_0 + r_1 + r_2 + r_3 + r_4,$$

sau, în cazul general, pentru m trepte ale rezistenței de pornire:

$$R_m = \frac{U}{I_2} = r_0 + r_1 + r_2 + r_3 + \ldots + r_m$$

și:

$$r_m = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{m-1} r_1,$$

iar:

$$r_0 = \frac{U}{I_2} - r_1\left(1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda^2}{\mu^2} + \frac{\lambda^3}{\mu^3} + \ldots + \frac{\lambda^m}{\mu^m}\right).$$

Treptele de rezistență r sînt și aici în progresie geometrică; dar în acest caz *rezistențele totale* R nu mai formează o progresie geometrică.

λ sau μ se pot determina fie analitic, prin aproximații succesive, fie în mod grafic, observînd totodată că μ este funcție de λ. Se va varia λ, deci I_2, pînă cînd linia frîntă va intersecta un segment $N_0N = r_0$. Se poate porni invers începînd de la punctul N_0.

β) *În a doua metodă* (fig. 47) se ia în abscisă viteza n în locul f.c.e.m. și se folosește diagrama ajutătoare care dă relația între rezistența totală și turație.

Această diagramă ajutătoare formează o serie de trepte dreptunghiulare, deoarece pe fiecare treaptă creşterea respectivă a vitezei are loc cu rezistenţă constantă, iar la scurtcircuitarea fiecărei trepte a rezistenţei, viteza respectivă rămîne neschimbată.

Vîrfurile acestor trepte se găsesc pe două drepte AB şi CD, care au următoarea semnificaţie: dacă motorul ar fi pornit cu o rezistenţă foarte fin divizată, adică de exemplu cu o rezistenţă lichidă, menţinîndu-se permanent intensitatea curentului de pornire la valoarea I_2, creşterea vitezei va fi reprezentată de dreapta AB, iar dacă motorul ar fi pornit în mod identic menţinîndu-se permanent intensitatea curentului la valoarea I_1, creşterea vitezei va fi reprezentată de dreapta CD. Cele patru extremităţi ale acestor drepte au următoarele coordonate:

punctul A corespunde la $n_x = 0$ şi $R_x = \dfrac{U}{I_2}$;

punctul B corespunde la $n_x = n_2$ şi $R_x = \overline{EB} = r_0$;

punctul C corespunde la $n_x = 0$ şi $R_x = \dfrac{U}{I_1}$;

punctul D corespunde la $n_x = n_1$ şi $R_x = \overline{FD} = r_0$.

După stabilirea treptelor din diagrama ajutătoare, se poate construi diagrama propriu zisă; linia frîntă a acesteia are vîrfurile pe cele două orizontale reprezentînd valorile intensităţilor I_1 şi I_2 pe de o parte, iar pe de alta pe verticalele treptelor din diagrama ajutătoare de jos. Valorile rezistenţelor individuale ale treptelor sînt, şi în acest caz, în progresie geometrică.

Dacă α şi β sînt unghiurile de înclinaţie respective ale dreptelor AB şi CD faţă de orizontală, va rezulta:

$$r_2 = r_1 \frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha}, \quad r_3 = r_2 \frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha}, \quad r_4 = r_3 \frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha}.$$

Valoarea $\dfrac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha}$, conform fig. 43, este egală cu valoarea calculată $\dfrac{\lambda}{\mu}$.

Din comparaţia diagramelor din fig. 46 şi 47 cu diagramele din fig. 44 şi 45, se poate vedea că raportul $\dfrac{I_2}{I_1}$, la pornirea unui motor serie, este mult mai convenabil decît în cazul pornirii unui motor derivaţie, bineînţeles dacă ambele motoare au rezistenţa de pornire cu acelaşi număr de trepte şi aceeaşi rezistenţă a indusului. În consecinţă, se ajunge la rezultatul că numărul de trepte, în cazul motorului serie, poate fi mai mic decît ar fi necesar pentru un motor derivaţie.

Pe lîngă acestea, motorul derivaţie are o rezistenţă a indusului mult mai mică decît cea a unui motor serie.

28. Reostate de pornire pentru motoare asincrone trifazate cu rotorul bobinat, pentru cuplul normal. Se tratează mai jos cazul general al reostatelor de pornire pentru motoare asincrone trifazate cu rotorul bobinat cu inele (v. vol. II., pag. 157, 322).

Se notează în consecinţă:

P — puterea motorului, în CP;
P' — puterea motorului, în kW;
U_1 — tensiunea statorului (tensiunea reţelei), în V;
U_2 — tensiunea rotorului, în V, măsurată între inele cu circuitul rotorului deschis şi cu motorul în repaus;
I_1, I_1' — intensităţile de curent absorbit de la reţea imediat înainte şi după scurtcircuitarea unei trepte, în A;
I_2, I_2' — intensităţile de curent corespunzătoare în rotor (pe inele), în A;
φ — unghiul de defazare al curentului în stator; defazajul curentului în rotor poate fi neglijat, dată fiind frecvenţa foarte redusă a acestuia;
$U_f = \dfrac{U_2}{\sqrt{3}}$ — tensiunea pe fază, în V, cînd reostatul este conectat în stea, ceea ce reprezintă cazul general al motoarelor trifazate;
$R_1, R_2, R_3, \ldots, R_m$ — rezistenţele totale pe fază ale reostatului, în Ω;
$r_1, r_2, r_3, \ldots, r_m$ — rezistenţele fiecărei trepte a reostatului, pe o fază, în Ω;
s — alunecarea curentă;
η — randamentul rotorului propriu zis (circa 97 %).

În cazul general, cînd reostatul de pornire este conectat în stea, tensiunea aplicată fiecăreia din cele trei căi de curent (faze) va fi $\dfrac{U_2}{\sqrt{3}}$, iar intensitatea curentului în fiecare ramură va fi I_2' (fig. 48).

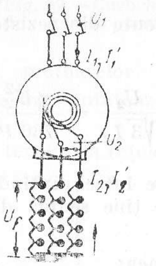


Fig. 48. — Schema reostatului de pornire al unui motor asincron trifazat cu rotorul bobinat.

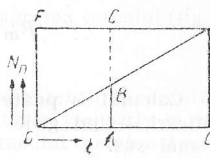


Fig. 49. — Diagrama turaţiei în funcţie de timp, la pornirea unui motor asincron trifazat cu rotorul bobinat.

Dacă motorul porneşte uşor, de exemplu la un cuplu de pornire de 1—1,5 ori cuplul nominal, se poate face aproximaţia de a se neglija dispersiunile şi motorul poate fi în acest caz considerat ca un transformator fără dispersiuni. Atît timp cît motorul nu se învîrteşte, energia absorbită va fi consumată integral în rezistenţa din circuitul rotorului (practic, în rezistenţa de pornire), de unde va rezulta relaţia:

$$3 \frac{U_2}{\sqrt{3}} I_2' = \sqrt{3}\, U_2 I_2' = \frac{1}{\eta} 736\, P\,[\mathrm{CP}] = \frac{1}{\eta} 1\,000\, P'\,[\mathrm{kW}],$$

de unde se obţine:

$$I_2 = \frac{736\, P}{\eta \sqrt{3}\, U_2} = \frac{425}{\eta} \frac{P}{U_2} = \frac{578}{\eta} \frac{P'}{U_2}.$$

După ce motorul a pornit, creşterea turaţiei în perioada de pornire este dată de fig. 49, din care reiese că, în acelaşi fel ca şi în cazul motorului derivaţie, porţiunea AB din puterea motorului la o turaţie oarecare este transformată în lucru mecanic, pe cînd porţiunea BC este consumată în rezistenţă.

În consecință, se poate calcula reostatul de pornire al unui motor asincron trifazat, rezistența reostatului fiind conectată în stea, întocmai ca pentru un motor derivație, care ar avea o tensiune egală cu $\frac{U_2}{\sqrt{3}}$, un curent I_2 și o rezistență a indusului egală cu r_0, aceasta fiind rezistența echivalentă a rotorului.

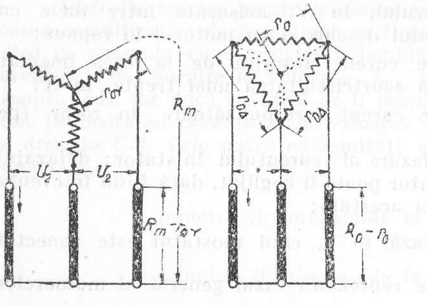


Fig. 50. — Schema reostatului de pornire pentru un motor asincron trifazat cu rotorul legat în stea.

Fig. 51. — Schema reostatului de pornire pentru un motor asincron trifazat cu rotorul legat în triunghi.

Dacă rotorul unui motor este conectat în stea (fig. 50):

$$r_0 = r_{0Y},$$

iar dacă rotorul altui motor este conectat în triunghi (fig. 51):

$$r_0 = \frac{r'_{0\Delta}}{3},$$

r_{0Y} și $r'_{0\Delta}$ fiind rezistențele reale pe fază ale bobinajelor respective ale rotoarelor celor două motoare.

Se poate introduce în calcule, cum s-a arătat pentru motorul derivație, valoarea rezistenței echivalente pe fază a rotorului, în procente din rezistența aparentă pe fază a rotorului R_m, care este dată de relația:

$$R_m = \frac{U_2}{\sqrt{3}\, I_2} = \frac{\eta\, U_2^2}{736\, P} = \frac{\eta\, U_2^2}{1\,000\, P'}.$$

Calculul se poate face întrebuințîndu-se diagramele din fig. 44, fără alte modificări, avînd grijă a se ține seama de relațiile dintre diversele valori, arătate mai sus.

Va rezulta de asemenea:

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{R_m}{r_0}} = \sqrt[m]{\frac{U_2}{\sqrt{3}\, I_2\, r_0}} = \sqrt[m]{\frac{\eta\, U_2^2}{736\, P\, r_0}} = \sqrt[m]{\frac{\eta\, U_2^2}{1\,000\, P'\, r_0}};$$

$$R_1 = \lambda\, r_0 = r_0 + r_1; \qquad r_1 = (\lambda - 1)\, r_0;$$

$$R_2 = \lambda^3\, r_0 = R_1 + r_2; \qquad r_2 = \lambda r_1;$$

$$R_3 = \lambda^3\, r_0 = R_2 + r_3; \qquad r_3 = \lambda^2\, r_1;$$

$$\cdots\cdots\cdots; \qquad \cdots\cdots;$$

$$R_m = \lambda^m\, r_0 = R_{m-1} + r_m; \qquad r_m = \lambda^{m-1}\, r_1.$$

Trebuie să se observe că $\frac{U_2}{\sqrt{3}}$ a fost măsurată cu circuitul rotorului deschis, dar în momentul cînd în rotor circulă un curent I_2, tensiunea între perii

scade, datorită reacției indusului, care dă naștere unei dispersiuni. Pentru a se ține seama de efectul dispersiunii, este convenabil a se introduce în calcule un factor de corecție, cel mai simplu sistem constînd în înlocuirea tensiunii măsurate între inele la circuit rotoric întrerupt U_2, cu o tensiune U_2', aceasta din urmă fiind tensiunea care apare în momentul cînd prin rotor circulă curentul I_2'.

Valorile tensiunii U_2' sînt date de fig. 52 și se vede că pentru un cuplu egal cu cuplul nominal rezultă:

$$U_2' = 0{,}92\, U_2,$$

iar pentru cuplul egal cu 1,5 cuplu nominal:

$$U_2' = 0{,}89\, U_2.$$

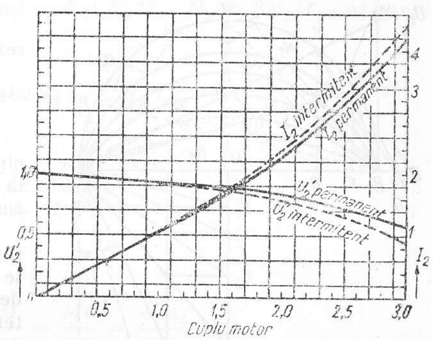


Fig. 52. — Curbele tensiunii și intensității funcție de cuplu, la pornirea unui motor asincron trifazat.

În fig. 52 este reprezentată o diagramă a variației tensiunii rotorului U_2 și a curentului în rotor I_2 în funcție de cuplu, luîndu-se ca unități pentru fiecare din aceste mărimi valoarea lor nominală respectivă. Curbele cu linii pline corespund motoarelor pentru regim permanent de funcționare, pe cînd curbele cu linii întrerupte corespund motoarelor pentru regim intermitent.

Același rezultat se obține dacă se întrebuințează diagrama cercului (fig. 53), în care:

$OU_1 = U_1$ este vectorul reprezentînd tensiunea rețelei;

$ON = I_1$; $OM = I_1'$ — curentul în stator; $BN \sim I_2$; $BM \sim I_2'$ — curentul în rotor (M și N se găsesc pe un cerc, cu diametrul BC)

I_1, I_2 reprezentînd curentul în stator, respectiv în rotor, imediat înaintea scurtcircuitării unei trepte;

I_1', I_2', idem, după scurtcircuitarea treptei respective;

AQ — componenta reactivă, QO — componenta activă } a curentului de magnetizare a statorului;

CM (respectiv CN) — fluxul × numărul de spire în circuitul rotorului;

MD — cuplul motorului [1]);

$$MB = c_1 I_2', \quad NB = c_1 I_2 \text{ și } U_2 = s\,\frac{CM}{c_2} = RI_2',$$

în care c_1 și c_2 sînt constante (unități de măsură), iar s — alunecarea.

[1]) S-a luat diagrama cercului, neglijîndu-se pierderile în stator.

Se poate deci reprezenta $U_2 = RI_2'$ printr-un segment MM_1, din dreapta MC, rezultînd:

$$\frac{MM_1}{MC} = s \text{ și } MM_1 = c_2\ RI_2' = c_2 U_2 .$$

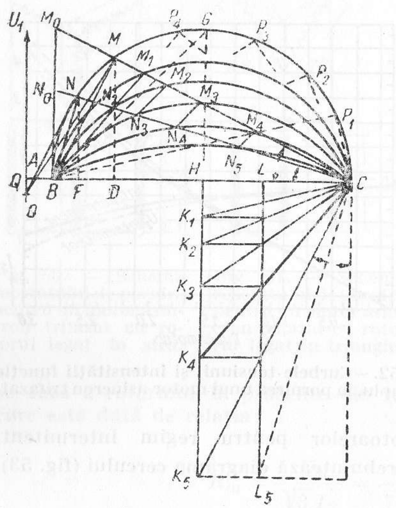


Fig. 53. — Împărțirea în trepte prin diagrama cercului, la un reostat de pornire trifazat.

Deoarece:

$$\sphericalangle\ BMM_1 = 90°,$$

rezultă:

$$\operatorname{tg} \sphericalangle\ M_1\ BM = \frac{M\ M_1}{MB} = \frac{c_2\ RI_2'}{c_1\ I_2'} = \frac{c_2}{c_1}\ R.$$

Unghiul M_1BM rămîne deci constant cînd variază curentul, sarcina și alunecarea, la o rezistență constantă în circuitul rotorului.

De asemenea $\sphericalangle BM_1C = 90° + \widehat{MBM_1}$ rămîne constant, astfel încît punctul M_1 se deplasează pe cercul BM_1C. Rezultă de aici că pentru fiecare valoare a rezistenței din circuitul rotoric va rezulta cîte un cerc trecînd prin punctele B, C și M_1, respectiv M_2, M_3, . . ., denumit cerc de alunecare.

Dacă punctele M și M_1 se deplasează pe cercurile respective pînă cînd M_1 se confundă cu C, iar M se deplasează pînă în punctul P_1, va rezulta $s = 1$, deci motorul stă pe loc, iar raza CK_1 a cercului de alunecare BM_1C este perpendiculară pe CP_1 și paralelă cu BP_1. Mai departe avem:

$$\sphericalangle\ HCK_1 = \sphericalangle\ CBP_1 = \sphericalangle\ M_1BM,$$

astfel încît HK_1 reprezintă rezistența la o scară anumită (funcție de constantele de mai sus) întrucît:

$$HK_1 = CH \operatorname{tg} \sphericalangle\ HCK_1 = CH \operatorname{tg} \sphericalangle\ MBM_1 .$$

Relații identice vor fi valabile pentru toate cercurile de alunecare susmenționate, ale căror centre se găsesc în K_2, K_3, K_4, K_5. Dacă motorul trebuie să pornească cu o intensitate BM, dreapta CM va fi tangentă la cercul de alunecare CN_5B în punctul C. În momentul următor, motorul își mărește viteza, iar curentul scade de la valoarea OM la valoarea ON; dreapta CM se rotește pînă în CN și punctul de intersecție între această dreaptă și cercul de alunecare respectiv se deplasează din C pînă în N_5. Alunecarea scade de la:

$$\frac{MC}{MC} = 1 \text{ pînă la } \frac{NN_5}{NC}.$$

Dacă în acest moment treapta a patra a rezistenței este scurtcircuitată, curentul va crește din nou de la valoarea ON la OM, respectiv de la valoarea BN la BM. Dar, deoarece viteza și deci alunecarea au rămas aceleași, rezultă:

$$\frac{NN_5}{NC} = \frac{MM_4}{MC},$$

adică N_5M_4 este paralelă cu NM; în același mod și N_4M_3, N_3M_2, N_2M_1 sînt paralele cu NM.

Mai departe:

$$MM_4 = c_2\ R_3\ I_2', \quad NN_4 = c_2\ R_3\ I_2 ,$$

de unde:

$$\frac{MM_4}{NN_4} = \frac{I_2'}{I_2}\frac{BM}{BN}$$

și:

$$\frac{MM_4}{MM_3} = \frac{NN_5}{NN_4} = \frac{NC}{MC}\frac{BM}{BN} = \frac{\dfrac{BM}{MC}}{\dfrac{BN}{NC}} = \frac{BM_0}{BN_0} = \lambda ,$$

în care λ este o constantă ($\lambda > 1$).

În același mod va rezulta:

$$\frac{NC}{NN_5} = \frac{NN_5}{NN_4} = \frac{NN_4}{NN_3} = \frac{NN_3}{NN_2} = \lambda$$

și

$$\frac{MC}{MM_4} = \frac{MM_4}{MM_3} = \frac{MM_3}{MM_2} = \frac{MM_2}{MM_1} = \lambda .$$

După cum s-a arătat mai sus, segmentele MM_1, MM_2, MM_3, MM_4, MC sînt proporționale cu alunecările sau cu tensiunile rotorice $U_{2x} = I_2'\ R_x$ și, deoarece pentru toate aceste puncte I_2' este constant, segmentele menționate sînt proporționale cu rezistențele totale pe fiecare treaptă: r_0, R_1, R_2, R_3, R_4 și deci:

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_3}{R_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_1}{r_0} = \lambda .$$

Rezistențele totale, rezistențele treptelor și alunecările sînt și în acest caz în progresie geometrică.

Totodată segmentele HK_1, HK_2, . . ., HK_5 sînt proporționale cu rezistențele totale pe fiecare treaptă; deci este posibil ca să se determine punctele K printr-o construcție simplă. Pentru aceasta se determină un punct L, astfel ca:

$$\frac{CH}{CL} = \frac{BM_0}{BN_0} = \lambda .$$

Se trasează apoi treptele: $CK_5 \perp CM_0$, $CL_5 \perp CN_0$ și $K_5 L_5 \| BC$, construcție prin care se stabilește punctul de intersecție L_5.

Dacă se mai duce dreapta $LL_5 \| HK_5$, se pot acum determina punctele K_4, K_3, K_2, K_1 în modul arătat pentru construcția din cazul motorului derivație.

În cazul cînd HK_5 (respectiv HK_m) și rezistența rotorului HK_1 sînt cunoscute, ca și coeficientul λ sau numărul de trepte m, nu mai este necesar a se construi diagrama cercului, ci este suficient să se determine șirul de puncte $K_1, K_2, \ldots, K_5$.

Dacă se cunoaște alunecarea pentru o rezistență determinată, de exemplu cînd înfășurarea rotorului este scurtcircuitată, deci pentru rezistența r_0, rezultă:

$$HK_1 = r_0,$$

de unde se determină scara segmentelor HK.

Dar, deoarece atît rezistența rotorului cît și alunecarea cînd rotorul este scurtcircuitat, au valori foarte mici și nu pot fi măsurate cu precizie este preferabil a se măsura tensiunea între inele, U'_2, cînd prin rotor trece un curent I'_2, cu motorul în repaus. Această tensiune U'_2 este ceva mai mică decît tensiunea cu circuitul rotorului deschis, U_2.

Pentru o rezistență conectată în stea, va rezulta:

$$R_m = HK_5 = \frac{U'_2}{\sqrt{3}\, I'_2} = \frac{\eta U'^2_2}{736\ P\,[\mathrm{CP}]} = \frac{\eta U'^2_2}{1\,000\ P\,[\mathrm{kW}]}.$$

29. **Reostate pentru motoare asincrone trifazate cu rotorul bobinat pentru cuplul maxim.** Motoarele asincrone trifazate fiind puțin sensibile la șocuri, ele se întrebuințează de preferință în aplicațiile industriale, care cer o pornire la cuplul maxim ce pot desvolta aceste motoare. Aceasta se poate realiza fie la pornirea din repaus, fie printr-o frînare prealabilă, dacă motorul s-a învîrtit într-un sens și trebuie pornit în sens invers. Astfel de condiții de lucru sînt necesare, de exemplu, în cazul macaralelor, trenurilor de laminoare în uzinele siderurgice, mașinilor de extracție etc.

Pe cînd la motoarele de curent continuu, cuplul crește în permanență proporțional cu intensitatea curentului din rotor, la motoarele asincrone trifazate creșterea proporțională a cuplului nu are loc decît pînă la o anumită limită a curentului.

În fig. 53 segmentul DM reprezintă cuplul corespunzător curenților I'_1 și I'_2. Cînd curentul în stator și rotor variază între valorile $I'_1 I'_2$ și $I_1 I_2$, cuplul variază respectiv între valorile DM și FN.

Dacă I'_2 crește pînă la valoarea BG, cuplul atinge corespunzător valoarea sa maximă HG. O creștere mai mare a curentului I'_2 peste această limită BG, atrage o micșorare a cuplului motor și deci nu mai prezintă nicun interes, avînd chiar un efect dăunător în exploatare.

Aceasta se poate vedea în fig. 54, în care s-au reprezentat diagramele cuplurilor motoare M raportate la cuplul normal M_n, în funcție de alunecare, s, pentru rezistențe constante ale circuitului rotorului. Fiecare curbă corespunde la o valoare stabilită a rezistenței din circuitul rotorului, care poate fi raportată la rezistența aparentă a motorului (aceasta fiind luată ca unitate):

$$\frac{U_f}{I} = \frac{U_2}{\sqrt{3}\, I},$$

sau, cum s-a arătat mai sus, poate să fie luată în procente ale acestei rezistențe aparente a motorului.

Cifrele de mai sus ne dau aproximativ viteza și pierderea de energie la motorul încărcat în mod permanent cu un curent I.

De exemplu, dacă pentru un tren de laminoare, antrenat de un motor reversibil, este disponibil un reostat de pornire care are numai cîte două poziții pentru fiecare sens de rotație al motorului, cu cîte o treaptă de scurtcircuitare, va trebui

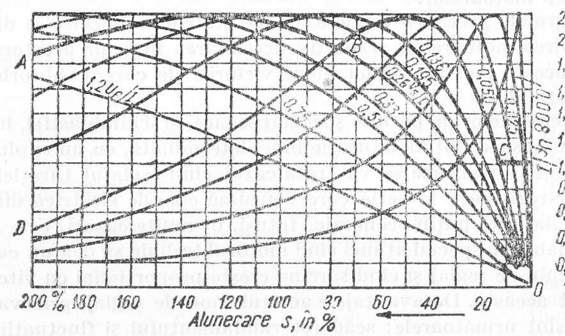


Fig. 54. — Diagramele cuplului în funcție de alunecare și rezistența în rotorul motoarelor asincrone trifazate cu rotorul bobinat.

evitată scurtcircuitarea netă a rezistenței de pornire a motorului, deoarece acesta ar putea fi desamorsat și chiar deteriorat la o pornire rapidă, printr-o manevrare prea bruscă a reostatului.

Pentru a se preîntîmpina acest pericol, se lasă în mod permanent conectată în circuitul rotorului o rezistență de circa 8,5 % din rezistența aparentă a motorului, la mers normal, în plină sarcină, pe treapta a doua în fiecare sens. Dacă mai departe se introduce pe prima treaptă în circuit circa 26 % din rezistența aparentă a rotorului, curba de variație a cuplului va fi reprezentată prin curba $A\ B\ C$ trasată cu linii groase în fig. 54.

Dacă motorul se rotește în plin mers spre stînga, pe prima treaptă, în timp ce cîmpul se rotește spre dreapta, corespunzînd unei alunecări de 200 %, rezultă în punctul A al curbei un cuplu egal cu de 1,9 ori cuplul normal (M_n). Pe măsura frînării, cuplul va crește pînă la valoarea maximă 2,2 M_n și va scădea apoi, trecînd prin valoarea 2,1 M_n pentru alunecare 100 % cînd motorul se oprește. Mai departe, dacă motorul va porni în sens invers (spre dreapta), în același sens cu cîmpul, tot la 2,1 M_n, cuplul va continua să scadă pînă în punctul B, cînd ajunge din nou la valoarea 1,9 M_n.

Dacă în acest moment reostatul se va manevra pe poziția 2, treapta de rezistență fiind scurtcircuitată, cuplul va crește progresiv pînă la valoarea 2,2 M_n după care va scădea pînă la valoarea M_n. Se vede din diagramă că, în cazul cînd reostatul ar fi manevrat direct pe poziția 2, curba cuplului ar fi DBC, care este defavorabilă, deoarece motorul pornește, în acest caz, cu un cuplu redus și deci cu o accelerație mult mai mică sau poate fi desamorsat și chiar deteriorat.

D. Calculul reostatelor pentru pornire și reglajul turației electromotoarelor

30. **Generalități.** Unele din mașinile antrenate de electromotoare funcționează cu viteze variabile, cum este de exemplu, cazul ventilatoarelor, pompelor, mașinilor de ridicat, de extracție, tracțiune etc. În aceste cazuri este necesar ca și motoarele respective să funcționeze cu turație variabilă pentru perioade determinate sau în regim de lungă durată. În acest scop se întrebuințează reostate de pornire și reglaj al turației motoarelor.

Din paragrafele precedente reiese că reostatele de pornire se dimensionează astfel, încît pornirea motoarelor, respectiv accelerarea maselor acestora, să fie realizată de către aceste reostate astfel, încît vîrfurile de curent absorbit să rămînă în limite bine stabilite.

Calculul reostatelor de pornire și reglaj se face, în schimb astfel, încît la fiecare poziție a reostatului să se obțină o turație bine determinată, cu un cuplu deasemenea determinat. În cele ce urmează se va trata cazul cînd reglajul turației se face prin intermediul unor rezistențe în serie care consumă energie electrică din rețea. Deși acest mod de reglaj este puțin economic, totuși, în multe cazuri, este indispensabil sau chiar convenabil, în special atunci cînd motorul trebuie să dea un cuplu constant în întregul domeniu de reglaj și cînd sarcina crește proporțional cu viteza, sau chiar mai repede decît aceasta. Desavantajele acestui mod de reglaj, prin variația curentului principal, sînt următoarele: scăderea randamentului și fluctuații de viteză la variațiile sarcinii, din care cauză acest mod de reglaj este admisibil, în cele mai multe cazuri, numai pentru gama $n \cdots 0{,}5\ n$, adică pînă la 50% din viteza de regim.

Avantajele sistemului sînt: întrebuințarea unor motoare de construcție normală și deci ieftine și a unor reostate de pornire și reglaj mai simple, condiții care în multe cazuri sînt decisive asupra alegerii sistemului de reglaj.

Pentru a putea dimensiona în mod corect un reostat de pornire și reglaj este necesar a se cunoaște valorile precise ale cuplului care se cer la turațiile respective. În calculul rezistenței trebuie făcută o distincție precisă între valoarea cuplului, pe care motorul o furnizează în mod normal (corepunzătoare puterii nominale), și cea corespunzătoare calculului fiecărei rezistențe. Dacă se va supraestima cuplul necesar, nu se va putea atinge turația cea mai redusă cu reostatul astfel calculat. În cazul cînd cuplul real va fi jumătate din cuplul pentru care a fost calculat reostatul, domeniul de reglaj va fi deasemenea redus la jumătate din cel prescris. Aceste considerații sînt valabile pentru motoarele asincrone trifazate și pentru motoarele de curent continuu derivație, pe cînd pentru motoarele serie, condițiile sînt și mai defavorabile.

31. **Reostate pentru motoare de curent continuu derivație.** În fig. 55 este reprezentată schema unui astfel de reostat împreună cu motorul respectiv, în care U_n este tensiunea de alimentare a motorului, în V; I_n — curentul nominal, în A; P_n sau P_n' — puterea nominală furnizată la arbore, în CP respectiv în kW; n_n — turația nominală, în rot/min; M_n — cuplul corespunzător puterii nominale, în kgm; η_n — randamentul nominal; P_{na} — puterea nominală absorbită dela rețea la plină sarcină și la turația nominală, în kW; U_x, I_x, P_x [CP], P_x' [kW], n_x, M_x, η_x, P_{xa} [kW] — aceleași notații pentru o turație mai mică decît cea nominală; R_x — rezistența reostatului de pornire și reglaj, în Ω, pentru viteza respectivă. Folosind

notațiile de mai sus, se poate scrie:

$$I_x = \frac{M_x}{M_n} I_n; \quad M_n = 716 \frac{P_n\,[\mathrm{CP}]}{n_n} = 973 \frac{P_n'\,[\mathrm{kW}]}{n_n};$$

$$M_x = 716 \frac{P_x\,[\mathrm{CP}]}{n_x} = 973 \frac{P_x'\,[\mathrm{kW}]}{n_x}; \quad U_x = \frac{n_x}{n_n} U_n;$$

$$R_x = \frac{U_n - U_x}{I_x} = \frac{U_n}{I_x} \frac{n_n - n_x}{n_n} = \frac{U_n}{I_n} \frac{M_n}{M_x} \frac{n_n - n_x}{n_n}.$$

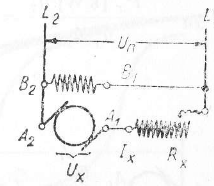


Fig. 55. — Schema unui motor de curent continuu derivație cu reostat de pornire și reglaj.

Puterea absorbită de la rețea la viteza nominală va fi:

$$P_{na} = \frac{P_n'\,[\mathrm{kW}]}{\eta_n} = 0{,}736 \frac{P_n\,[\mathrm{CP}]}{\eta_n} = \frac{M_n n_n}{973\,\eta_n}\ [\mathrm{kW}],$$

la viteza redusă va fi:

$$P_{xa} = \frac{P_x'\,[\mathrm{kW}]\,n_n}{\eta_x n_x} = 0{,}736 \frac{P_x\,[\mathrm{CP}]\,n_n}{\eta_x n_x} =$$

$$= \frac{M_x n_n}{973\,\eta_x}\ [\mathrm{kW}].$$

Din această putere, cantitatea $\frac{n_x}{n_n} P_{xa}$ va fi transformată în motor, în lucru mecanic iar cantitatea $\frac{n_n - n_x}{n_n} P_{xa}$ va fi transformată în rezistența de reglaj, în căldură. Dacă se consideră că motorul are un randament practic constant, rezultă $\eta_x = \eta_n$, iar randamentul global al ansamblului (motor cu reostat), va scădea în timpul reglajului de la valoarea nominală η_n la valoarea $\eta_n \frac{n_x}{n_n}$.

32. **Reostate pentru motoare de curent continuu serie.** În fig. 56 este reprezentată schema unui motor serie împreună cu reostatul de pornire și reglaj, iar în fig. 57 sînt reprezentate următoarele caracteristici ale motorului pentru U_n = const (tensiunea de alimentare):

$$n_z = f(M_x) \quad \text{și} \quad I_x = f(M_x),$$

în care notațiile sînt identice cu cele de la paragraful precedent, iar n_z este viteza de rotație pentru M_x și $R = 0$.

Se notează cu Φ_n și Φ_z fluxurile corespunzătoare, respectiv, cuplurilor M_n și M_x. Rezultă:

$$\Phi_z n_z = \Phi_n n_n \sim U_n$$

și:

$$\frac{M_x}{M_n} = \frac{I_x \Phi_z}{I_n \Phi_n} = \frac{I_x n_n}{I_n n_z}.$$

Dacă viteza motorului trebuie să varieze în mod arbitrar [1]) deci în mod independent de M_x, rezultă pentru $M_x = \text{const}$:

$$U_x = \frac{n_x}{n_z} U_n ;$$

$$R_x = \frac{U_n - U_x}{I_x} = \frac{U_n - U_x}{I_n} \frac{M_n}{M_x} \frac{n_n}{n_z} = \frac{U_n}{I_n} \frac{M_n}{M_x} \frac{n_z - n_x}{n_z} \frac{n_n}{n_z} .$$

Puterea absorbită de la rețea la turația redusă va fi:

$$P_{xa} = \frac{P'_x \,[\text{kW}]\, n_z}{\eta_x \eta_x} = \frac{M_x n_z}{973\, \eta_x} \,[\text{kW}].$$

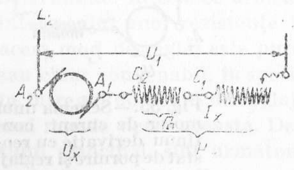


Fig. 56. — Schema unui motor de curent continuu serie cu reostat de pornire și reglaj.

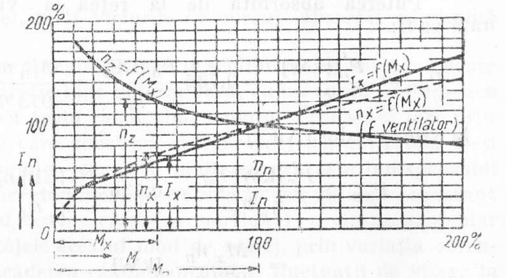


Fig. 57. — Curbele vitezei și curentului în funcție de cuplu la motorul de curent continuu serie.

Randamentul global al ansamblului va scădea, în timpul reglajului, de la valoarea nominală η_n la valoarea $\eta_x \frac{n_x}{n_z}$.

33. **Reglajul vitezei motoarelor de curent continuu prin bobine de reactanță cu miez saturat.** Acest sistem de reglaj este bazat pe principiul aplicării unei tensiuni variabile la bornele unui motor de curent continuu cu excitație independentă, ca și în cazul sistemului motor-generator.

Fig. 58 reprezintă schema de legături a unui astfel de sistem. Indusul motorului *1* de curent continuu este alimentat de la o rețea de curent alternativ trifazat prin intermediul unui redresor *2*, între acesta din urmă și rețeaua trifazată se leagă pe fiecare fază cîte o bobină de reactanță cu magnetizare variabilă *3*. Excitația motorului *1* este independentă. Magnetizarea variabilă se obține printr-o înfășurare suplimentară alimentată separat.

Pentru o excitație determinată și un cuplu deasemenea determinat, motorul va absorbi de la rețea un curent de intensitate I_1. Tensiunea la bornele bobinelor de reactanță U_L va fi în funcție de starea de magnetizare a acestora, conform curbelor caracteristice *1*—*4* reprezentate în fig. 59, trasate pentru patru valori ale curentului de magnetizare. Această tensiune are o valoare cu atît mai mică, cu cît curentul de magnetizare este mai mare și pentru curentul de sarcină I_1 variază între limitele $U_1 \cdots U_4$.

[1]) Caracteristica punctată $n_x = f(M_x)$ din fig. 57 se referă la reglajul vitezei unui ventilator, tratat în paragraful 35, în care caz M_x și n_x sînt dependente una de alta.

Tensiunea aplicată redresorului va fi deci:

$$U_a = U - U_L ,$$

în care: U_a este tensiunea aplicată redresorului;
U — tensiunea rețelei;
U_L — tensiunea la bornele bobinelor reactive.

Reglînd curentul de magnetizare, se trece în mod continuu de la o caracteristică la alta, modificîndu-se, în consecință, tensiunea aplicată redresorului și, prin aceasta, se realizează o variație perfect continuă a tensiunii aplicate la bornele indusului motorului.

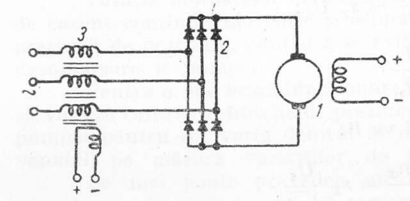


Fig. 58. — Schema reglajului vitezei unui motor de curent continuu cu bobine de reactanță cu miez saturat.

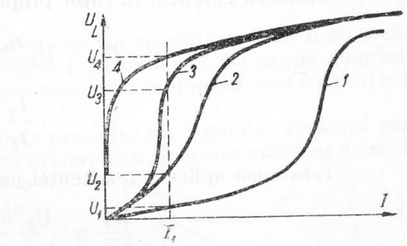


Fig. 59. — Curbele tensiunii la bornele bobinei de reactanță în funcție de curentul de magnetizare.

Variația de viteză obținută prin acest sistem este relativ mică:

$$\frac{n_{min}}{n_{max}} = \frac{1}{3} .$$

Pentru a obține un domeniu mare de reglaj, acest sistem se combină și cu un reglaj al cîmpului polilor inductori ai motorului printr-un reostat de excitație. Cu acest sistem combinat se obține un domeniu mare de reglaj

$$\frac{n_{min}}{n_{max}} = \frac{1}{25} .$$

Puterea consumată în circuitul de comandă este de 2—3% din puterea reglabilă.

Redresarea se poate face prin redresoare uscate sau ionice. Pentru puteri mici și mijloci sînt preferate redresoarele uscate (cu seleniu), fiind simple și convenabile în exploatare.

Viteza de rotație este dependentă de sarcină pentru un curent magnetizat determinat. Dacă este necesară menținerea unei viteze independente de sarcină, aceasta se poate realiza prin comanda automată a curenților de magnetizare prin regulatoare automate. [1]).

34. **Reostate pentru motoare asincrone trifazate cu rotorul bobinat.** Calculul este similar celui din cazul motorului de curent continuu cu excitația în deri-

[1]) M. I. Kraițberg, Regulirovanie skorosti vrașcenia dvigatelei postoianogo toko s pomoșcin droselei nasișcenia, Elektricestvo 6/1948.

vaţie. Fie U_2 tensiunea între inelele rotorului, în V, în circuit deschis şi motorul stînd pe loc; I_2 — intensitatea curentului pe inel, în A; P_n sau P_n' — puterea nominală pe arbore, în CP sau, respectiv, în kW; n_s — turaţia sincronă, în rot/min; M_n — cuplul corespunzător puterii nominale, în kgm; η_n — randamentul nominal; P_{na}' — puterea absorbită de la reţea la plină sarcină şi viteză nominală, în kW; U_x, I_x, P_x [CP], P_x' [kW], n_x, M_x, η_x şi P_{xa}' [kW] — aceleaşi notaţii pentru o turaţie redusă; R_x — rezistenţa pe fază, în Ω, a reostatului de pornire şi reglaj (montat în stea), împreună cu rezistenţa pe fază a rotorului [corespunzătoare montajului în stea (vezi paragraful 28)] pentru turaţia respectivă; s_x — alunecarea la turaţia respectivă.

Deoarece este vorba, în general, de cupluri sub valoarea celui nominal, se poate considera curentul în rotor proporţional cu cuplul, rezultînd:

$$U_x = U_2 \frac{n_s - n_x}{n_s} = s_x U_2;$$

$$\frac{I_x}{I_2} = \frac{M_x}{M_n}.$$

Tensiunea aplicată rezistenţei pe fază va fi:

$$\frac{U_x}{\sqrt{3}} = \frac{U_2}{\sqrt{3}} \frac{n_s - n_x}{n_s} = s_x \frac{U_2}{\sqrt{3}}.$$

Valoarea rezistenţei va fi:

$$R_x = \frac{U_2}{\sqrt{3} I_x} \frac{n_s - n_x}{n_s} = \frac{U_2}{\sqrt{3} I_2} \frac{M_n}{M_x} \frac{n_s - n_x}{n_s}.$$

Această expresie diferă numai cu factorul $\frac{1}{\sqrt{3}}$ de cea corespunzătoare din cazul reostatelor pentru motoare de curent continuu în derivaţie.

Puterea absorbită de la reţea la turaţia redusă n_x va avea următoarea valoare:

$$P_{xa} = \frac{P_x' \,[\mathrm{kW}]\, n_s}{\eta_x n_x} = 0{,}736 \frac{P_x \,[\mathrm{CP}]}{\eta_x} \frac{n_s}{n_x} = \frac{M_x n_s}{973\, \eta_x} \,[\mathrm{kW}],$$

identică cu expresia corespunzătoare din cazul reostatelor pentru motoare de curent continuu derivaţie.

35. **Reostate pentru motoare antrenînd ventilatoare sau pompe centrifuge.** Dacă notăm cu n_x viteza de rotaţie redusă a unui ventilator sau a unei pompe centrifuge, cuplul acestora creşte proporţional cu n_x^2, iar puterea va creşte, în consecinţă, proporţional cu n_x^3:

$$M_x = M_n \frac{n_x^2}{n_n^2}; \quad P_x' \,[\mathrm{kW}] = P_n' \,[\mathrm{kW}] \frac{n_x^3}{n_n^3}.$$

— Pentru un motor de curent continuu excitat în derivaţie va rezulta, conform § 31;

$$R_x = \frac{U_n}{I_n} \frac{M_n}{M_x} \frac{n_n - n_x}{n_n} = \frac{U_n}{I_n} \frac{n_n^2}{n_x^2} \frac{n_n - n_x}{n_n}.$$

— Pentru un motor de curent continuu în serie va rezulta, conform § 32.

$$R_x = \frac{U_n}{I_n} \frac{M_n}{M_x} \frac{n_z - n_x}{n_z} \frac{n_n}{n_z} = \frac{U_n}{I_n} \frac{n_n}{n_z} \frac{n_n^2}{n_x^2} \frac{n_z - n_x}{n_z}.$$

Pentru a găsi valorile n_z, corespunzătoare valorilor n_x, respectiv M_x, s-a construit în fig. 57, cu linii întrerupte, parabola reprezentînd $n_x = f(M_x)$, valabilă numai pentru cazul cînd motorul antrenează un motor sau o pompă centrifugă.

— Pentru un motor asincron trifazat, va rezulta, conform § 31.

$$R_x = \frac{U_2}{\sqrt{3} I_2} \frac{n_s^2}{n_x^2} \frac{n_s - n_x}{n_s}.$$

Turaţia motoarelor de antrenare a pompelor (în special în cazul motoarelor de curent continuu derivaţie şi asincrone trifazate) trebuie să fie precis adaptată presiunii de pompare, pentru a se evita supraîncărcarea motorului sau o eventuală desamorsare a pompei.

Pentru o mai bună funcţionare, se poate prevedea un regulator automat care să varieze turaţia în funcţie de presiune. Este preferabil a se ajusta automat admisia pompei pentru a-i varia debitul în mod convenabil, pe măsura variaţiilor de presiune.

Se mai poate prevedea un releu de curent sau de putere, care să comande automat reostatul, astfel încît puterea absorbită să rămînă constantă; graţie acestui dispozitiv, motorul este întrebuinţat în permanenţă în plin şi este totodată protejat contra suprasarcinilor.

36. **Reostat pentru motoare cu turaţii şi cupluri variabile periodic.** Această situaţie se întîlneşte în cazul maşinilor de extracţie prevăzute cu reostate de pornire şi reglaj. În general, acestea sînt antrenate de motoare asincrone trifazate, cu controlere în aer sau sub ulei şi rezistenţe în aer.

Pentru motoarele mari, de peste 100 kW, care antrenează maşini de extracţie, controlerele ar avea dimensiuni foarte mari şi ar deveni incomode în manevrare. În aceste cazuri se întrebuinţează, pentru comutare, contactoare comandate de un mic controler manevrat dela postul de comandă al echipamentului respectiv.

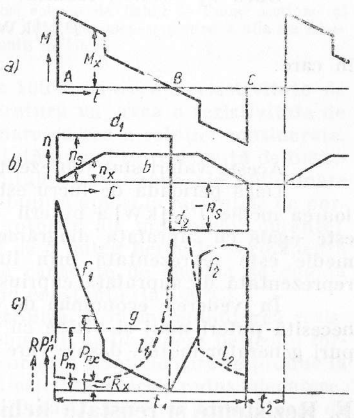


Fig. 60. — Diagramele cuplului (*a*) vitezei (*b*) şi puterii (*c*), funcţie de timp la maşinile cu variaţie periodică a cuplului şi vitezei.

Uneori, viteza motoarelor trebuie să rămînă constantă în tot timpul unei perioade de funcţionare, cum ar fi în cazul operaţiilor de extracţie sau al unei viteze foarte reduse a maşinii pentru revizia echipamentului.

În acest caz, frînarea maselor în mişcare sau aplicarea de cupluri negative, de exemplu la coborîrea sarcinii sau în cazul dezechilibrului cablului, se poate face fie mecanic, fie comutînd motorul pe rotaţie în sens invers.

În fig. 60 sînt reprezentate diagrama de variaţie a cuplului $M_x = f(t)$ şi diagrama turaţiei $n_x = f(t)$.

În punctul B, în care cuplul îşi schimbă semnul, se vor inversa două din conductoarele de alimentare ale motorului. Prin aceasta, sensul de rotaţie al

cîmpului se inversează şi viteza de rotaţie sincronă devine $-n_s$; distanţele verticale între d_1 şi b, respective între d_2 şi b, corespund vitezelor relative $n_s - n_x$, respectiv $-(n_s + n_x)$.

Vitezele relative sînt în ambele cazuri pozitive (funcţionare subsincronă).

Rezistenţa de reglaj R va fi, la un moment dat, în cazul unui motor asincron trifazat:

$$R_x = \frac{U_2}{\sqrt{3}\, I} \frac{M_n}{} \frac{n_s - n_x}{M_x} = K_1 \frac{n_s - n_x}{M_x},$$

în care:

$$K_1 = \frac{U_2}{\sqrt{3}\, I_2} \frac{M_n}{n_s},$$

corespunzînd curbei l_1, l_2.

Puterea consumată în rezistenţă P'_r va avea expresia:

$$P'_{rx}\,[\mathrm{kW}] = \frac{n_s - n_x}{n_s} P_{xa}\,[\mathrm{kW}] = \frac{M_x\,(n_s - n_x)}{973\,\eta_x}\,[\mathrm{kW}].$$

Dacă $\eta_s \sim$ const, rezultă:

$$P'_{rx}\,[\mathrm{kW}] = K_2\, M_x\,(n_s - n_x),$$

în care:

$$K_2 = \frac{1{,}028}{1\,000\,\eta_x}.$$

Aceste valori sînt reprezentate de curba $f_1 f_2$.

Dacă perioada de lucru este t_1 şi pauza are o valoare de t_2 [s], rezultă valoarea medie P'_m [kW] a puterii consumate în reostatul de pornire şi reglaj, care este egală cu suprafaţa diagramei $f_1 f_2$, împărţită cu $(t_1 + t_2)$. Această valoare medie este reprezentată prin linia g şi energia corespunzătoare, în kWs, este reprezentată de suprafaţa cuprinsă între linia g şi axa absciselor.

În vederea economiei de energie electrică, dispozitivele mecanice, care necesită puteri mari şi viteze cu cupluri variind periodic, se antrenează prin grupuri generator-motor, despre care s-a vorbit la § 7 [1]).

E. Rezistenţe şi reostate lichide şi reostate de pornire metalice în ulei

37. **Rezistenţa electrică a lichidelor.** Pentru a putea calcula un reostat de pornire cu rezistenţă lichidă, trebuie să se cunoască rezistenţa electrică a electrolitului întrebuinţat. Electrolitul cel mai des întrebuinţat este o soluţie de sodă ($Na_2\,CO_3$), sau, în unele cazuri, apă curată. Alte săruri sînt mai puţin indicate, din cauza faptului că la densităţi mari de curent dau loc la depozite importante de mîl în vasul reostatului. În cele ce urmează se vor considera în consecinţă numai soluţiile de sodă.

[1]) Pentru o documentare mai amplă cu privire la problema antrenării dispozitivelor necesitînd viteze şi cupluri variind periodic, se va consulta următoarea literatură:

F. N. Şclearschi, *Fizcho-Mehaniceskie osnovî electriceskogo rudnicinogo podioma*, Moskva-Leningrad, Uglethizdat 1952.

B. L. Davidov, *Rasciet puskokvîh soprotivlenii dlea osinhronîh dvigatelei, ucitîvaia nelineinîe mehaniceskie harakteristiki*, Vestnic Electropromîşlenosti 12/1948.

S. Z. Barschi, *Analiz schem elektroprivoda s padainşcei karakteristikoi*, Elecricestvo 5/1950.

Rezistenţa soluţiei depinde, de pe o parte, de temperatură, iar pe de altă parte, în şi mai mare măsură, de concentraţia soluţiei şi variază mult mai puţin cu densitatea de curent.

În tabela 10 se dau rezistivităţile la diverse temperaturi şi concentraţii ale soluţiilor de sodă şi a apei, la o densitate de curent normal întrebuinţat în reostatele de pornire cu rezistenţă lichidă.

Tabela 10. Rezistivitatea, în Ω mm²/m, a apei şi a soluţiilor de sodă (în procente de greutate pentru sodă comercială) la diverse temperaturi şi concentraţii [1])

Temperatura, în °C		20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°
Concentraţia	0,0%	196	162	139	123	110	100	90	83	76
	0,1%	88	72	60	51	43	38	33	30	28
	0,5%	16	14	12	9,8	8,4	7,2	6,3	5,6	5,1
	1,0%	12	10	8,8	7,6	6,6	5,8	5,2	4,7	4,3
	2,9%	4,7	3,6	3,0	2,7	2,4	2,2	2,1	2,0	1,9
	4,8%	3,5	2,9	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3
	9,1%	2,2	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0
	23,0%	1,3	1,1	0,9	0,	,7	0,6	0,55	0,50	0,45

Observaţie. Pentru a găsi rezistenţa, în Ω, necesară unei coloane de lichid de 1 mm² secţiune şi 1 m lungime, trebuie să se înmulţească coeficientul din tabelă cu 10^5; deasemenea, pentru a afla rezistivitatea unei coloane de 1 cm² secţiune şi 1 cm lungime, se va înmulţi cu 10.

De exemplu, o soluţie de sodă de 4,8 % la 100°C va avea o rezistivitate de 130 000 Ω mm²/m, pe cînd apa la aceeaşi temperatură va avea o rezistivitate de 7 600 000 Ω mm²/m, deci de circa 60 de ori mai mare ca cea a soluţiei considerate. Din această cauză, mult timp apa a fost întrebuinţată numai ca rezistenţă de încărcare pentru înaltă tensiune. Mai recent, prin montaje convenabile ale unui mare număr de electrozi la distanţe mici, s-a putut întrebuinţa apa şi la reostatele de pornire de puteri mari la joasă tensiune (tensiunile rotorice ale motoarelor curente).

Apa are, faţă de soluţia de sodă, avantajul de a putea fierbe în permanenţă fără a produce depozite, şi totodată o importantă cantitate de energie se degajă prin vaporizarea apei, valoarea rezistenţei rămînînd constantă (la 100°C).

38. **Desvoltarea gazelor explozive prin electroliză.** Prin întrebuinţarea rezistenţelor lichide, în special în curent continuu, trebuie avut în vedere pericolul formării de gaze de electroliză, care se pot aprinde uşor prin scînteile care se produc la ieşirea electrozilor din lichid. Pericolul exploziei este, de obicei, redus, deoarece, în general, aceste gaze se produc în cantităţi mici. Totuşi, există un pericol mare de explozie atunci cînd aceste aparate sînt întrebuinţate în spaţii cu amestecuri explozive de gaze, cum este cazul în mine, uzine de gaz, etc., şi cînd aprinderea gazelor de electroliză ar putea amorsa restul amestecului exploziv, dînd naştere la grave accidente. În aceste cazuri, construcţia aparatului trebuie astfel făcută, încît electrozii să nu iasă niciodată din electrolit, pentru a nu da naştere la scîntei. Formarea gazelor de electroliză nu are loc numai în curent continuu, ci şi în curent alternativ, mai ales la frecvenţe scăzute, ca de exemplu în cazul curenţilor rotorici în motoarele asincrone, în apropierea sincronismului.

În cazul curentului continuu se formează pe electrozi un depozit conţinînd mici bule de gaz, care, în contact cu scînteile, dau loc la mici explozii. În cazul curen-

[1]) Cifrele de pe prima linie orizontală sînt medii pentru apă de conductă de bună calitate. In cazul cînd trebuie să se execute rezistenţe fixe pentru înaltă tensiune, este însă bine a se face o măsurătoare prealabilă a rezistivităţii apei ce urmează a fi întrebuinţată. Apa distilată la 20°C are o rezistenţă specifică de $121\,000 \cdot 10^5$ Ω mm²/m, iar apa de ploaie la 20°C, $900 \cdot 10^5$ Ω mm²/m.

tului alternativ, gazele de electroliză produse sînt în cantităţi mult mai mici şi dispar, în general, fără a mai da loc la aprinderi.

În cazul cînd rezistenţele funcţionează în curent continuu, fiind conectate permanent în circuit, este bine ca electrolitul să fie în continuu reînnoit, în special cînd electrolitul este apa.

39. **Reostate de încărcare lichide.** Pentru încercările în sarcină a generatoarelor este foarte comod a se întrebuinţa reostate de încărcare lichide, deoarece sînt simple, se pot executa sau improviza cu uşurinţă şi permit o încărcare progresivă a generatoarelor respective. La o anumită încărcare menţin sarcina constantă, ceea ce nu este posibil în cazul cînd generatoarele debitează pe o reţea, deoarece sarcina acesteia din urmă este în general variabilă.

Electrolitul împreună cu electrozii pot fi, în acest caz, puşi în vase speciale sau electrozii pot fi cufundaţi în apă de rîu. În cazul cînd niciun punct al rezistenţei nu trebuie pus la pămînt, este necesar a se lua măsuri ca vasele respective să fie bine izolate. Acesta este, în general, cazul pentru curent continuu sau pentru curent trifazat cu rezistenţa conectată în triunghi.

Pentru curent trifazat este preferabil a se întrebuinţa conexiunea în stea, pentru a se evita necesitatea vaselor special izolate.

În cazul conexiunii în stea, rezistenţa va avea valoarea:

$$R_Y = \frac{U}{\sqrt{3}\, I},$$

în cazul conexiunii în triunghi:

$$R_\Delta = \frac{\sqrt{3}\, U}{I}$$

de unde:

$$R_\Delta = 3\, R_Y.$$

Ca electrolit se poate lua, în majoritatea cazurilor, apă. Luînd, ca exemplu, drept electrozi două plăci de 1 m² fiecare, la distanţă de 4 cm, în apă la 20°C, rezultă o rezistenţă de $19\,600\,000 \dfrac{0{,}04}{1\,000\,000} = 0{,}78\ \Omega$, care, la 500 V, va da naştere unei intensităţi de 640 A, corespunzînd unei puteri de 320 kW.

În cazul unei puteri mai mari, la tensiuni mai reduse, se vor aşeza mai multe plăci la egală distanţă, legînd de exemplu plăcile 1, 3, 5, 7, 9, 11 împreună şi plăcile 2, 4, 6, 8, 10 deasemenea împreună, sau, în caz general, n plăci legate între ele între alte $n + 1$ plăci, formînd astfel doi electrozi a căror suprafaţă este de 10 ori mai mare decît suprafaţa unei plăci, în primul exemplu (de 2 n ori mai mare, în cazul general). O astfel de rezistenţă, formată din 21 plăci la distanţă de 4 cm una de alta, va avea o capacitate de 3 200 kW la 500 V, ocupînd un spaţiu de aproximativ 1 m³.

Pentru rezistenţe trifazate conectate în triunghi, se întrebuinţează $3n + 1$ plăci, care se leagă principial în modul următor ($n = 2$):

Faza I	1	4	7
Faza II	2	5	
Faza III....	3	6	

În general, este suficient a se lua o placă pe fază, adică în total $3 + 1 = 4$ plăci

Se obişnuieşte a se lua căderea de tensiune între două plăci mai mică decît 50 V la 1 cm distanţă între acestea, densitatea de curent mai mică decît 1 A pe 1 cm²

de placă şi puterea consumată mai mică decît 1 W pe 1 cm³ de electrolit activ (tra-versat de curent).

Vasele întrebuinţate pot fi butoaie de lemn, putini, căzi dreptunghiulare, de preferinţă gudronate în interior, vase de pămînt (ceramică), vase de beton prismatice căptuşite cu un strat izolant[1]), o apă curgătoare, de exemplu un canal de aducere sau de evacuare a unei turbine hidraulice etc.

Dacă electrozii sînt foarte apropiaţi, se pot întrebuinţa şi vase metalice. În acest din urmă caz, rezistenţa este foarte mică şi numai cînd electrozii sînt formaţi din bare, rezistenţa creşte foarte puţin, dacă distanţa între aceştia este mai mare decît jumătatea lăţimii vasului.

În cazul electrozilor în formă de bare (din fier sau cupru), este greu a se calcula rezistenţa unui astfel de reostat. S-au făcut diverse încercări experimentale, al căror rezultat se găseşte în tabela 11 care dă rezistenţa, în Ω, a apei pure la 15°C pentru bare de diverse diametre, la distanţe între electrozi şi adîncimi de imersiune diferite, pentru vase dreptunghiulare de 150 cm lungime, 26 cm lăţime şi 40 cm înălţime a apei din vas, atît din materiale izolante (lemn sau ceramice), cît şi din fier.

Pentru soluţii din sodă sau pentru apă la altă temperatură, aceste valori pot fi uşor modificate conform tabelei 10.

Tabela 11. Rezistenţa, în Ω între doi electrozi în formă de bare rotunde de 4 cm diametru, cufundaţi în vase rectangulare şi apă pură la 15 °C.

Felul vaselor	Adîncimea de imersiune	Rezistenţa, în Ω (Bare rotunde 4 cm diametru), la distanţa dintre bare, în cm:								Creşterea de rezistenţă, în Ω, pentru un diametru al barelor de	
	cm	5	10	15	20	40	60	80	100	2 cm	1 cm
Izolante (ceramice)	2	195	255	280	290	330	370	405	445	155	325
	10	69	94	119	134	179	219	264	304	41	93
	20	26	51	71	81	126	166	211	256	24	50
	30	23	38	48	63	103	143	188	233	17	34
	40	16	31	41	51	96	136	181	221	14	27
Izolante (fier)	2	75	120	←			135	→		225	345
	10	41	71	81		←	89	→		49	88
	20	26	44	51		←	56	→		24	45
	30	20	30	40		←	43	→		15	30

Este foarte necesar ca rezistenţa să poată fi reglată în timpul funcţionării. În cazul unui singur circuit între doi electrozi, se poate varia rezistenţa prin deplasarea electrozilor unul faţă de celălalt. În cazul cînd sînt mai mulţi electrozi sau mai multe derivaţii formînd rezistenţe, se pot deplasa electrozii, variind adîncimea de imersiune; sau încă se poate varia nivelul apei. Admisia şi evacuarea apei se face prin ţevi izolate sau prin curgere liberă în aer. Cînd vasul nu este la potenţialul pămîntului, coloana de apă formează o punere la pămînt, dar aceasta este fără importanţă, deoarece rezistenţa coloanei de apă este foarte mare. Este, în orice caz, periculos a atinge această coloană de apă, deoarece, în anumite cazuri, ea poate să se găsească sub tensiune.

Pentru electrozi se iau plăci destul de robuste (3 mm grosime) care trebuie fixate solid pentru a se evita contactul între electrozi, din cauza curgerii apei.

Soluţiile de sodă nu trebuie să fiarbă în permanenţă, deoarece formează multă spumă, care poate uşor curge pe din afara vasului.

[1]) Întrucît betonul este deteriorat de trecerea curentului.

În cazul reostatelor cu apă pură, care disipează energia prin fierbere (întrebuințate numai în curent alternativ), cînd apa are la intrare, de exemplu, 27°C, un litru de apă va absorbi:

$$73 + 497 + 40 = 610 \text{ calkg} \equiv \frac{4{,}199}{3\,600}\,610 = 0{,}71 \text{ kWh}$$

Consumul de apă L, în l/h, este deci:

$$L = \frac{P'\,[\text{kW}]}{0{,}71} = 1{,}41\ P'\,[\text{kW}] = \frac{0.736\ P\,[\text{CP}]}{0{,}71} = 1{,}04\ P\,[\text{CP}] \text{ l/h.}$$

40. Construcția reostatelor de pornire lichide. α) *Reostate cu electrozi mobili.* Vasele întrebuințate sînt, fie izolante (ceramice), fie cuve metalice din fontă sau oțel. În cazul vaselor izolante, rezistența este mare în momentul cînd vîrfurile electrozilor ating lichidul, dar vasele sînt fragile. Cînd electrozii sînt complect scufundați, rezistența trebuie să fie suficient de mică, pentru a nu provoca un vîrf de curent prea mare în momentul stabilirii scurtcircuitului metalic, la sfîrșitul perioadei de pornire.

În consecință, rezistența minimă a reostatului lichid trebuie să fie aproximativ egală cu cea a indusului, respectiv a rotorului, sau conform cu caracteristicile motorului și să nu depășească 2–5 % din rezistența aparentă a motorului.

Dacă, de exemplu, trebuie să se pornească un motor de curent continuu cu o intensitate $\frac{1}{2}\ I$, rezistența maximă a reostatului (cînd electrozii au vîrfurile cufundate numai cu cîțiva centimetri) trebuie să fie $2\ \frac{U}{I}$, iar dacă rezistența minimă trebuie să fie $0{,}04\ \frac{U}{I}$, raportul de reglaj al rezistenței va fi:

$$\frac{0{,}04\ \frac{U}{I}}{2\ \frac{U}{I}} = \frac{1}{50}$$

Raportul de reglaj al unui reostat de pornire lichid ai cărui electrozi au o suprafață determinată, este constant. În schimb, se poate varia în limite foarte largi valoarea rezistenței, prin modificarea concentrației. În cazul soluțiilor foarte concentrate, rezistența finală este mică, dar în același raport și rezistența inițială (maximă) este mică, dînd loc la un curent apreciabil la punerea în circuit a motorului respectiv. Pentru a obține o concentrație convenabilă, se începe cu o concentrație slabă, se cufundă electrozii pînă la 1/5 din cursa acestora și se mărește concentrația pînă cînd motorul pornește.

În fig. 61 este reprezentat un reostat de pornire lichid pentru motoare pînă la 220 kW, iar în fig. 62, un reostat de pornire pentru puteri mai mari. În primul caz, fiecare electrod se compune dintr-o tablă unică, pe cînd în al doilea caz fiecare electrod este format din mai multe plăci asamblate. În acest fel se obține o rezistență mai bine gradată și o rezistență finală mai mică. Electrozii se deplasează între două plăci rigide fixate de cuvă.

În cazul reostatelor trifazate, pentru motoare asincrone cu rotorul bobinat, cele trei cuve sînt conectate la bornele rotorului, iar cei trei electrozi sînt legați

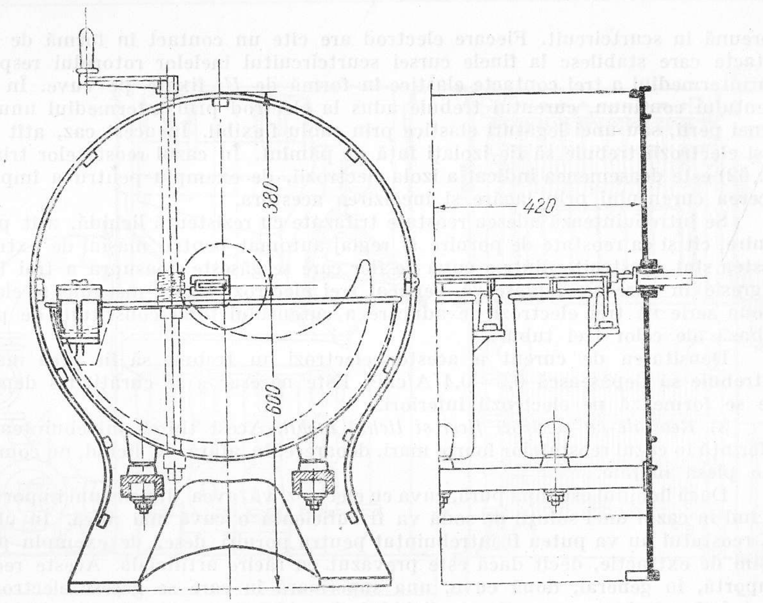
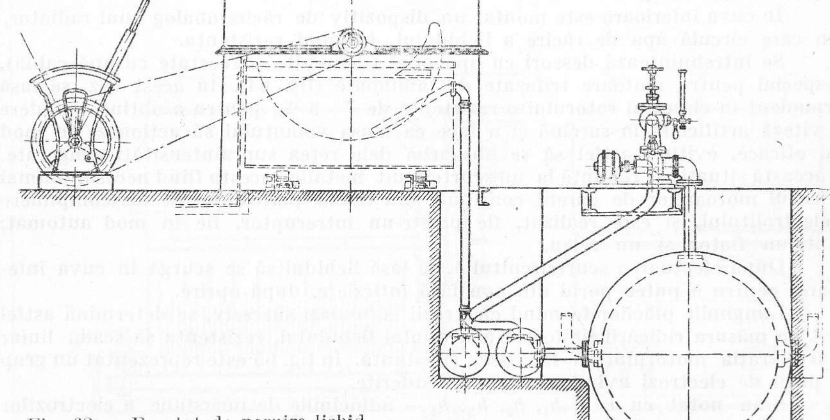


Fig. 61. – Reostat de pornire lichid pentru maximum 220 kW.


Fig. 62. – Reostat de pornire lichid pentru mare putere.

împreună în scurtcircuit. Fiecare electrod are cîte un contact în formă de cuțit, contacte care stabilesc la finele cursei scurtcircuitul inelelor rotorului respectiv, prin intermediul a trei contacte elastice în formă de U, fixate pe cuve. În cazul curentului continuu, curentul trebuie adus la electrod prin intermediul unui inel și unei perii, sau unei legături elastice prin cablu flexibil. În acest caz, atît cuva, cît și electrozii trebuie să fie izolați față de pămînt. În cazul reostatelor trifazate (fig. 62) este deasemenea indicat a izola electrozii, de exemplu pentru a împiedica trecerea curentului prin lagăre și încălzirea acestora.

Se întrebuințează adesea reostate trifazate cu rezistență lichidă, atît pentru pornire, cît și ca reostate de pornire și reglaj automat pentru mașini de extracție. Acestea sînt construite dintr-o cuvă de fier care se găsește deasupra a trei tuburi de gresie în care se deplasează vertical trei electrozi legați mecanic și electric, a doua serie de trei electrozi de aducere a curentului fiind constituiți de plăcile de bază ale celor trei tuburi.

Densitatea de curent a acestor electrozi nu trebuie să fie prea mare și nu trebuie să depășească 0,3–0,4 A/cm². Este necesar a se curăți des depozitul care se formează pe electrozii inferiori.

β) *Reostate cu electrozi ficși și lichid mobil.* Acest tip se întrebuințează de preferință în cazul reostatelor foarte mari, deoarece, în afară de lichid, nu comportă nicio piesă mobilă.

Dacă lichidul este apă pură, cuva cu electrozi va avea dimensiuni importante, pe cînd în cazul unei soluții de sodă va fi suficientă o cuvă mai mică. În ultimul caz, reostatul nu va putea fi întrebuințat pentru porniri dese, de exemplu pentru mașini de extracție, decît dacă este prevăzut cu răcire artificială. Aceste reostate comportă, în general, două cuve, una superioară în care se găsesc electrozii, și una inferioară, în care se găsește lichidul. Se obișnuiește a se face ca lichidul să circule în mod permanent, cu ajutorul unei pompe care pompează lichidul din cuva inferioară în cea superioară; la pornire, orificiul de scurgere al lichidului se închide cu ajutorul unei vane. În fig. 63 este reprezentat un reostat de pornire pentru o mașină de extracție, cu vană cilindrică pentru un motor trifazat, a cărui putere la vîrf atinge 1 100 kW.

În cuva inferioară este montat un dispozitiv de răcire analog unui radiator, prin care circulă apa de răcire a lichidului, formînd rezistența.

Se întrebuințează deseori cu apă pură (denumite și reostate cu apă caldă), în special pentru motoare trifazate de laminoare (fig. 64). În acest caz, se lasă permanent în circuitul rotorului o rezistență de 7–8 %, pentru a obține o cădere de viteză artificială în sarcină și a face ca masa volantului să acționeze în mod mai eficace, evitînd astfel să se absoarbă dela rețea supraintensități exagerate. În această situație se renunță la un scurtcircuit metalic, acesta fiind necesar numai în cazul motoarelor de curent continuu, din cauza pericolului de descompunere a electrolitului, și este realizat, fie printr-un întreruptor, fie în mod automat, printr-un flotor și un releu.

După efectuarea scurtcircuitului, se lasă lichidul să se scurgă în cuva inferioară, pentru a putea porni din nou fără întîrziere, după oprire.

Lungimile plăcilor formînd electrozii cufundați succesiv, se determină astfel încît pe măsura ridicării uniforme a nivelului lichidului, rezistența să scadă liniar și accelerația motorului să fie, deci, constantă. În fig. 65 este reprezentat un grup de plăci de electrozi avînd trei lungimi diferite.

S-au notat cu a, h, h_1, h_2, h_3, h_4 – adîncimile de imersiune a electrozilor în mm; l_1, l_2, l_3 – distanțele între electrozi (plăci), în mm,

δ – grosimea electrozilor, în mm;

Cînd nivelul lichidului crește progresiv pînă în A (trepte de pregătire), curentul crește în mod uniform. La această intensitate motorul trebuie să pornească

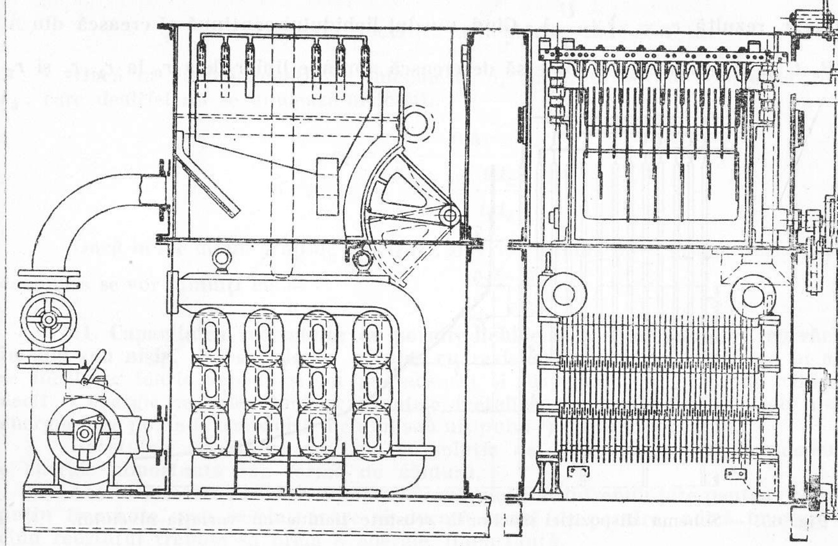


Fig. 63. – Reostat de pornire lichid pentru mașini de extracție cu maximum 1 100 kW.

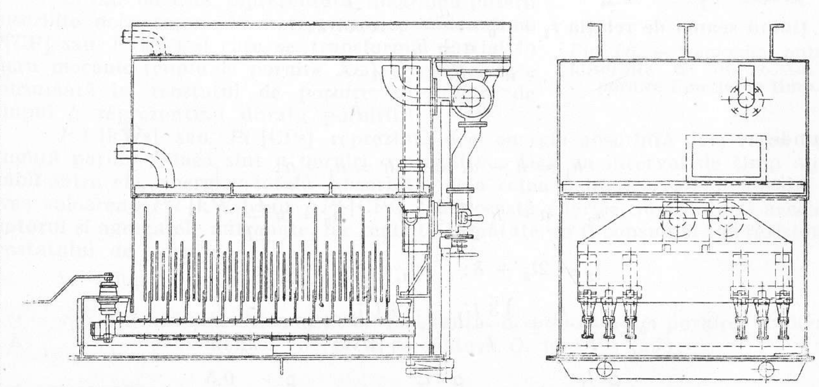


Fig. 64. – Reostat de pornire lichid pentru laminoare.

cu rezistența r_0 [Ω], între două faze (rezistențele celor trei faze fiind cuplate în triunghi, rezultă $r_0 = \sqrt{3}\frac{U}{I}$). Cînd nivelul lichidului continuă să crească din A în B, C și D, rezistența trebuie să descrească aproape liniar dela r_0 la r_1, r_2 și r_3

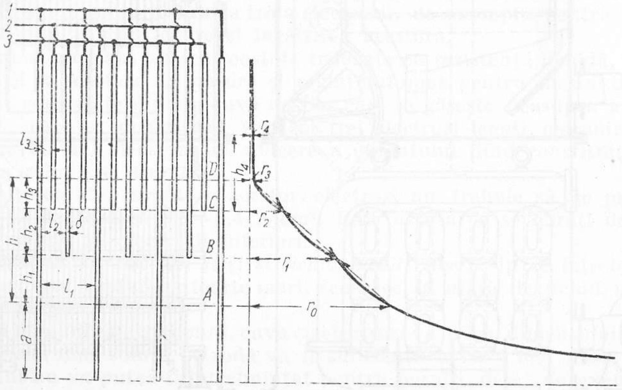


Fig. 65. — Schema dispoziției plăcilor la reostate lichide cu variația nivelului.

care are o valoare apropiată de zero. Dacă pentru o creștere de nivel h rezistența scade dela r_0 la zero, pentru o creștere de nivel de 1 mm, rezistența va trebui să scadă cu $\frac{r_0}{h}$ și, prin urmare:

$$r_1 = r_0 \frac{h - h_1}{h}; \qquad r_2 = r_0 \frac{h - h_1 - h_2}{h};$$

dar, ținînd seama de relația $r_1 = r_0 \frac{a}{a + h_1}$, rezultă:

$$\frac{h - h_1}{h} = \frac{a}{a + h_1},$$

de unde:

$$h_1 = h - a, \text{ sau: } h = h_1 + a;$$

$$h_2 = a - h\frac{l_2}{2\,l_1}; \qquad h_3 = h\frac{l_2}{2\,l_1};$$

$$l_2 = 2l_3 + \delta; \qquad l_1 = 4\,l_3 + 3\,\delta;$$

$$r_0 = \frac{\rho}{b}\,\frac{l_1}{a} = \frac{\sqrt{3}\,U_1}{I_1} = \frac{3\,U_1^2}{P_1'\,[\mathrm{kW}]}; \quad a = \frac{\rho}{r_0}\,\frac{l_1}{b};$$

$$r_1 = \frac{\rho}{b}\,\frac{l_1}{h}; \qquad r_2 = \frac{\rho}{b}\,\frac{l_2}{2\,a}; \qquad r_4 = \frac{\rho}{b}\,\frac{0{,}5}{\frac{a}{l_2} + \frac{2\,h_4}{l_3}},$$

în care b este lățimea electrozilor, în mm;

ρ — rezistența specifică a lichidelor în Ω mm²/m.

Dacă în ultima ecuație se înlocuiește h_4 cu h_3 se obține rezistența reală r_3, care dealtfel nu se anulează niciodată:

$$r_3 = \frac{\rho}{b}\,\frac{0{,}5}{\frac{a}{l_2} + \frac{h\,l_2}{l_1\,l_3}}.$$

Dacă în loc de un grup de electrozi, sînt un număr de n grupe, rezistențele calculate se vor înmulți cu $\frac{1}{n}$.

41. **Capacitatea reostatelor de pornire lichide și a celor metalice, cu răcire în ulei sau nisip.** Reostatele de pornire cu rezistențe metalice, cu răcire în aer, se încălzesc foarte repede și nu pot absorbi și dispersa, sub formă de căldură, decît o energie redusă. Dacă rezistențele metalice sînt răcite cu ulei sau nisip, energia care poate fi transmisă uleiului sau nisipului [1]) devine apreciabilă.

Reostatele lichide cu apă sau cu soluție de sodă pot absorbi deasemenea o energie importantă sub formă de căldură.

Aceste reostate lichide sau metalice sub ulei sînt întrebuințate pentru porniri puțin frecvente, sub sarcină mare și durată lungă de pornire, adică în cazurile cînd reostatul trebuie să preia o energie importantă.

Cum acestea sînt condițiile de pornire la majoritatea motoarelor de uz general, reostatele metalice cu răcire în ulei sînt întrebuințate pe o scară foarte mare, deoarece este ușor a concepe construcția lor în așa fel, încît și dispozitivul de scurtcircuitare a treptelor să se găsească în ulei, asigurînd astfel o durată mare a pieselor de contact.

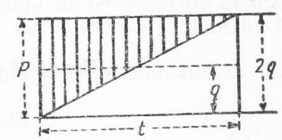


Fig. 66. — Diagrama puterii absorbite de un reostat de pornire funcție de timp.

În fig. 66 este reprezentată diagrama puterii absorbite dela rețea de motor, care se notează cu P[CP] sau P'[kW] și care se transformă parțial în lucru mecanic (cuplu de pornire $X\omega$) și parțial este consumată în reostatul de pornire, în funcție de timpul t, reprezentînd durata pornirii.

$P't$ [kWs] sau Pt [CPs] reprezintă deci energia absorbită dela rețea la o singură pornire; dacă sînt n porniri consecutive, fără un interval de timp apreciabil între ele, energia totală absorbită dela rețea pentru aceste n porniri va avea valoarea $nP't$ [kWs] sau nPt [CPs]. Din această energie, jumătate va accelera motorul și agregatele antrenate, iar cealaltă jumătate va fi consumată în rezistența reostatului de pornire.

Se adoptă următoarele notații:

$Q = c\gamma V\,\theta$ — căldura desvoltată în rezistență în perioada de pornire, în kcal;

K — echivalentul energetic al căldurii Q, în kWs (kJ);

[1]). Căldura specifică a nisipului este aproximativ $\frac{1}{2}$ din cea a uleiului. În consecință, capacitatea reostatelor cu nisip este mai mică decît a celor cu ulei.

$q = \frac{Q}{t}$ — cantitatea medie de căldură difuzată pe secundă în lichid, în timpul pornirii, în kcal/s;
V — volumul lichidului, în l;
γ — greutatea specifică a lichidului;
c — căldura specifică a lichidului, în kcal/kg·grd;
θ — creşterea de temperatură a lichidului, în °C;

$$1\ \text{kcal} = \frac{9{,}81 \cdot 428}{1\,000}\ \text{kWs} = 4{,}199\ \text{kWs};$$

$$1\ \text{kcal} = 428\ \text{kgm} = \frac{428}{75}\ \text{CPs} = 5{,}71\ \text{CPs}.$$

Rezultă:

$$K = 4{,}199\ Q = 4{,}199\ c\gamma V\theta\ \text{(kWs)}.$$

Pentru apă: $\gamma_a = 1$; $c_a = 1$.
Pentru ulei: $\gamma_u = 0{,}965$; $c_u = 0{,}40$.

Pentru o singură pornire, rezultă:

$$Q\,[\text{kcal}] \equiv \frac{1}{2} P' t\,[\text{kWs}] \equiv \frac{P' t}{2 \cdot 4{,}199} = 0{,}199\ P' t;$$

$$Q\,[\text{kcal}] \equiv \frac{1}{2} P t\ [\text{CPs}] \equiv \frac{P t}{2 \cdot 5{,}71} = 0{,}0876\ P t;$$

$$q = \frac{Q}{t} = 0{,}119\ P' = 0{,}0876\ P\ [\text{kcal/s}].$$

Pentru n porniri succesive, rezultă:

Pentru apă:

$$Q_a = V_a \theta; \qquad V_a = \frac{0{,}119\ n\ P' t}{\theta} = \frac{0{,}0876\ n\ P t}{\theta}.$$

Pentru ulei:

$$Q_u = c_u \gamma_u V_u \theta = 0{,}386\ V_u \theta; \qquad V_u = \frac{0{,}308\ n\ P' t}{\theta} = \frac{0{,}227\ n\ P t}{\theta}.$$

Dacă lichidul este în repaus şi se ia 80°C ca temperatură maximă admisibilă, se poate admite ca temperatură medie a lichidului, 65°C. Dacă, însă, se asigură circulaţia lichidului, temperatura medie poate atinge 80°C. Dacă temperatura iniţială a lichidului este de 25°C, rezultă astfel:
pentru lichid în repaus: $\theta_1 = 65 - 25 = 40$°C;
pentru lichid cu circulaţie: $\theta_2 = 80 - 25 = 55$°C.
Volumul necesar pentru un lichid în repaus:

Apă:

$$V_1 = \frac{0{,}119\ n\ P' t}{40} = 0{,}00297\ n\ P' t;$$

$$V_1 = \frac{0{,}0876\ n\ P t}{40} = 0{,}00219\ n\ P t.$$

Ulei:

$$V_1 = \frac{0{,}308\ n\ P' t}{40} = 0{,}0077\ n\ P' t;$$

$$V_1 = \frac{0{,}227\ n\ P t}{40} = 0{,}0057\ n\ P t.$$

Volumul necesar pentru un lichid cu circulaţie:

Apă:

$$V_2 = \frac{0{,}119\ n\ P' t}{55} = 0{,}00215\ n\ P' t;$$

$$V_2 = \frac{0{,}0876\ n\ P t}{55} = 0{,}0016\ n\ P t.$$

Ulei:

$$V_2 = \frac{0{,}308\ n\ P' t}{55} = 0{,}0056\ n\ P' t;$$

$$V_2 = \frac{0{,}227\ n\ P t}{55} = 0{,}00413\ n\ P t.$$

42. Funcţionarea reostatelor lichide şi a celor metalice în ulei, în regim permanent. Reostatele cu rezistenţe lichide şi reostatele metalice în ulei au o mare capacitate calorică, adică pot absorbi cantităţi importante de căldură la sarcini admisibile mari de durată scurtă; în schimb, în funcţionare continuă în regim permanent sarcina pe care o poate prelua acest tip de reostate este relativ mică. Această sarcină se poate exprima prin:

$$H = q\ \theta\ S\ [\text{kW}], \tag{42.1}$$

unde: H este sarcina continuă, în kW, pentru o creştere de temperatură de θ°C;
q — căldura specifică de difuzare, în kW/m² de suprafaţă şi pentru 1°C diferenţă de temperatură;
θ — diferenţa de temperatură medie între lichid şi aerul ambiant, în °C.;
S — suprafaţa totală a cuvei, în m².
În mod experimental (prin încercări), s-a stabilit:

$$q = 0{,}01\ \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot {}^\circ\text{C}}.$$

Înlocuind pe q şi θ cu valorile date în paragraful precedent, rezultă:
pentru un lichid în repaus: $\theta_1 = 40$°C;
pentru un lichid în circulaţie: $\theta_2 = 55$°C.

De unde rezultă valoarea lui H:

$$\text{pentru un lichid în repaus: } H_1 = 0{,}01 \cdot 40 \cdot S = 0{,}40\ S\,\frac{\text{kW}}{\text{m}^2};$$

$$\text{pentru un lichid cu circulaţie: } H_2 = 0{,}01 \cdot 55 \cdot S = 0{,}55\ S\,\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}.$$

O cuvă de formă cubică, avînd o capacitate de 1 m³, deci 6 m² de suprafaţă va putea difuza în primul caz 2,4 kW; deasemenea, o cuvă mică avînd muchia de 0,2 m (formă cubică) va avea o suprafaţă de 0,24 m² şi nu va putea difuza decît 0,096 kW.

43. **Încălzirea și răcirea reostatelor lichide și a celor metalice în ulei.** Încălzirea medie a reostatului, la un aport constant de căldură are loc conform curbei k (fig. 67, a). Dacă în perioada de timp T nu ar avea loc nicio radiere de căldură în aer, curba de temperatură ar fi AB. Răcirea are loc în același fel conform

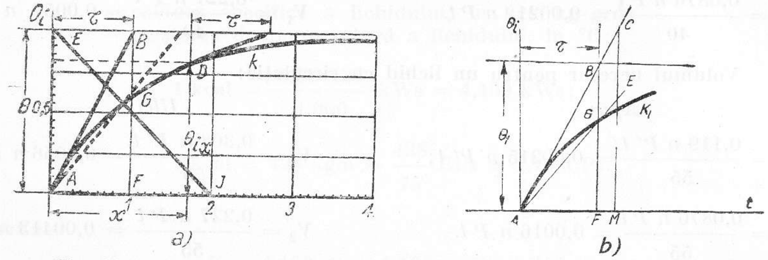


Fig. 67. — Diagrama încălzirii unui reostat de pornire funcție de timp:
a — diagrama ridicată pentru temperatura finală θ;
b — construcția diagramei pentru temperatura finală θ_1

curbei l (fig. 68); în acest caz, dacă reostatul ar difuza o cantitate de căldură constantă pe secundă, răcirea ar avea loc după dreapta AB. Segmentul EB reprezintă *constanta de timp* a reostatului, care se notează cu $\mathfrak{T}$ [s] [1]. Se poate scrie:

$$\mathfrak{T} = \frac{K}{H},$$

în care K este capacitatea reostatului, în kWs (kJ).

Se poate determina constanta de timp $\mathfrak{T}$ în felul următor:

$$K = 4{,}199\ Q = 4{,}199\ c\,\gamma\,V\,\theta = \mathfrak{T} H \text{ [kWs]},$$

de unde:

$$\mathfrak{T} = \frac{4{,}199\,c\gamma V\theta}{H} = \frac{4{,}199\,c\gamma V}{qS} \text{ [s]}.$$

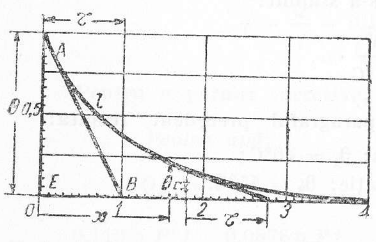


Fig. 68. — Diagrama răcirii unui reostat de pornire funcție de timp.

Pentru $q = 0{,}01$ kW/m²grd, va rezulta:

pentru apă: $\mathfrak{T}_a = 419{,}9 \frac{V}{S}$ [s]. *pentru ulei:* $\mathfrak{T}_u = 161{,}9 \frac{V}{S}$ [s].

Temperatura la timpul x este, conform curbelor:

la încălzire: $\theta_{ix} = \theta\left(1 - e^{-\frac{x}{\mathfrak{T}}}\right)$ *la răcire:* $\theta_{rx} = \theta\, e^{-\frac{x}{\mathfrak{T}}}$

[1]) Tangenta într-un punct arbitrar D al curbei de încălzire sau răcire intersectează prelungirea dreptei EB într-un punct, astfel încît distanța acestuia la verticala punctului D este constanta de timp $\mathfrak{T}$.

Valoarea θ este cunoscută pentru curba de răcire, iar pentru curba de încălzire rezultă, conform formulei (42.1):

$$\theta = \frac{H}{q\,S}.$$

Valorile $e^{-\frac{x}{\mathfrak{T}}}$ și $1 - e^{-\frac{x}{\mathfrak{T}}}$ se găsesc în tabela 12.

Tabela 12. Valorile $e^{-\frac{x}{\mathfrak{T}}}$ **și** $1-e^{-\frac{x}{\mathfrak{T}}}$

$\frac{x}{\mathfrak{T}}$	$e^{-\frac{x}{\mathfrak{T}}}$	$1-e^{-\frac{x}{\mathfrak{T}}}$	$\frac{x}{\mathfrak{T}}$	$e^{-\frac{x}{\mathfrak{T}}}$	$1-e^{-\frac{x}{\mathfrak{T}}}$
0,1	0,905	0,095	0,9	0,407	0,593
0,2	0,819	0,181	1,0	0,368	0,632
0,3	0,741	0,259			
0,4	0,670	0,330	1,5	0,223	0,777
0,5	0,607	0,393	2,0	0,135	0,865
0,6	0,549	0,451	3,0	0,050	0,950
0,7	0,497	0,503	4,0	0,018	0,982
0,8	0,449	0,551	5,0	0,006	0,994

Trasarea corectă a curbelor de încălzire și de răcire se poate face prin următoarele încercări:

α) Se determină sarcina continuă, corespunzătoare diferenței de temperatură θ în modul următor: se încălzește întîi cuva la diferența de temperatură θ (desvoltîndu-se o cantitate mare de căldură) și se reglează apoi curentul astfel, încît temperatura să rămînă constantă. Se întrerupe acum curentul și se lasă cuva să se răcească. Se supune reostatul la sarcina corespunzătoare diferenței de temperatură θ astfel determinată; se măsoară cu termometrul aproximativ la 5 min. diferența de temperatură între lichid și aerul ambiant și se obține astfel curba k.

β) Se supune reostatul unei sarcini arbitrare $R\,I_1^2$ și se obține o curbă k_1, (fig. 67, b) care corespunde unei diferențe de temperatură θ_1. Nu este necesar a se prelungi această încercare pînă cînd θ_1 va fi efectiv atins (ceeace nu s-ar produce decît pentru un timp $x = \infty$). Pentru timpul $x = \mathfrak{T}$ va rezulta:

$$\theta_i = \left(1 - \frac{1}{e}\right) = 0{,}632\ \theta$$

$\left(\text{v. tabela 12 pentru } \frac{x}{\mathfrak{T}} = 1\right)$.

Dacă se duce tangenta AC la curba k_1 și în plus o dreaptă AE, astfel încît $EM = 0{,}632\ CM$, AE va intersecta curba k_1 într'un punct G. Dacă în punctul G se ridică o perpendiculară pe AM care taie AC în B, se obțin valorile θ_1 și $\mathfrak{T}$; cum diferența de temperatură θ este proporțională cu sarcina suportată de reostat, rezultă:

$$\frac{\theta}{\theta_1} = \frac{I^2\,R}{I_1^2\,R},$$

de unde:

$$I = I_1 \sqrt{\frac{\theta}{\theta_1}}.$$

Cu această intensitate I, se poate trasa experimental sau calcula curba k multiplicînd valorile θ_i' măsurate, cu factorul $\frac{\theta}{\theta_1}$ și se deduce:

$$\theta_i = \theta_i' \frac{\theta}{\theta_1}.$$

γ) Metoda cea mai simplă este următoarea: se încălzește repede cuva pînă la diferența de temperatură θ, desvoltînd în rezistență o mare cantitate de căldură, și se determină apoi curba de răcire l (fig. 68). Apoi se deduce ușor curba de încălzire datorită expresiei:

$$\theta_i = \theta - \theta_r.$$

În aceste măsurători trebuie ținut cont, după caz, de faptul că repartiția căldurii în interiorul cuvei poate să nu fie uniformă.

În tabela 13 se dau caracteristicile unei serii de reostate metalice în ulei pentru o temperatură exterioară de 20°C:

Tabela 13. Caracteristicile reostatelor metalice în ulei (la o temperatură exterioară de 20°C).

Caracteristicile reostatului	0	I	II	III	IV	V
Conținutul în ulei, în l	4,5	12	24	55	115	210
Puterea de pornire, în kW	7,4	22	37	74	130	184
Energia de pornire, în kW·min	8,8	26	44	110	190	276
Durata de răcire: dela 80 la 60°C, în min	21	32	33	47	65	94
Durata de răcire: dela 60 la 40°C, în min	53	70	73	101	138	200
Durata de răcire: dela 40 la 30°C, în min	70	86	135	159	240	350
Durata de răcire: dela 80 la 30°C, în h	$2\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{4}$	4	$5\frac{1}{4}$	$7\frac{1}{2}$	11
Constanta de timp $\mathfrak{T}$, în h	$\frac{2}{3}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$	$3\frac{1}{2}$

44. Răcirea artificială a reostatelor lichide și a celor metalice, în ulei. Dacă rezistența trebuie să suporte un aport permanent de energie și dacă energia care se transformă în căldură nu poate fi evacuată, capacitatea de difuzare a suprafeței cuvei fiind prea mică, trebuie să se recurgă la răcire artificială. Se pot distinge în acest sens:

α) *Răcire prin serpentine montate în interiorul aparatului.* În cazul cînd aparatele sînt de putere mică, se montează în interiorul cuvei serpentine tubulare prin care circulă apa de răcire. În tabela 14 se indică puterile (sarcinile) ce pot fi difuzate în acest mod de cuve conținînd soluție de sodă la 70 și 90°C și la o temperatură a aerului ambiant de 23°C. Valorile indicate se referă la o singură cuvă; în cazul cînd se dispune de trei cuve pentru curent trifazat, puterea difuzată va fi de trei ori mai mare.

Tabela 14.

Dimensiunile cuvei (lățime, lungime, înălțimea lichidului)	30×78×34 cm		49×135×52 cm	
Serpentina de răcire	6,4 m lungime 32 mm ⌀ exterior		18,5 m lungime 32 mm ⌀ exterior	
Temperatura soluției de sodă la suprafață, în °C	70	90	70	90
Cantitatea de lichid vaporizat, în l/h	4,2	13	11	37
Puterea absorbită fără răcire artificială, în kW	1,65	3,42	5,00	8,90
Idem, cu răcire artificială, în kW	7,9	15	22,3	45,0
Cantitatea de apă de răcire, în l/m	6,8	14,4	20,7	37,2
Temperatura apei la intrare, în °C	14	13	13	13
Temperatura apei la ieșire, în °C	26	24	25	26

Încălzirea apei la trecerea prin serpentină este funcție de suprafața acesteia, dar nu poate fi luată prea mare (numai aproximativ 12°C), pentru a nu se obține o serpentină de dimensiuni exagerate.

β) *Răcire prin dispozitive speciale cu răcire de suprafață, combinate cu pompe de circulație.* În cazul puterilor mai mari, pentru a putea difuza cantitățile de căldură importante care se produc, este necesar a se întrebuința dispozitive speciale cu răcire de suprafață (fig. 63). Construcția acestor dispozitive este similară celei a preîncălzitoarelor de apă.

Apa de răcire circulă prin sistemul de țevi de răcire, iar lichidul care urmează a fi răcit (soluția de sodă sau uleiul) circulă în sens invers dealungul pereților exteriori ai aceluiași sistem. Mișcarea lichidului este obținută printr-o pompă de circulație specială. Dacă, de exemplu, temperatura uleiului la intrare este de 80°C, la ieșire de 60°C și cea a apei de răcire de 25°C și 35°C, rezultă:

$$\begin{array}{rcc} \text{ulei} & 80°C \rightarrow & 60°C \\ \text{apă de răcire} & \underline{35°C} \leftarrow & \underline{25°C} \\ \text{diferență} & 45°C & 35°C. \end{array}$$

Astfel se va obține la extremitățile sistemului de țevi de răcire o diferență de temperatură de 45°C, respectiv 35°C, deci o diferență medie de temperatură $\theta = 40$°C.

Dacă în afară de notațiile dela paragrafele 41—43 se vor mai nota:

θ_u — diferența de temperatură în lichidul care urmează a fi răcit, ulei sau soluție de sodă (pentru a preciza ideile în cele care urmează se va lua numai cazul uleiului), în °C;

θ_a — idem, pentru apa de răcire, în °C;

q — cantitatea de căldură care trebuie evacuată pe secundă, în kcal/s:

$$\frac{1 \text{ kcal}}{\text{s}} = 4{,}199 \text{ kW} = 5{,}71 \text{ CP (v. § 41)};$$

v — debitul de ulei care absoarbe cantitatea de căldură q, în l/s,

w — idem, pentru apa de răcire, în l/s;

k_u respectiv k_a — cifra de transmisie a căldurii între ulei → oțel → apă, respectiv între apă → oțel → apă, în kcal/grdm² s;

d — diametrul mediu al țevilor de răcire, în mm;
n — numărul de țevi;
l — lungimea unei țevi, în m;
$L = n \cdot l$ — lungimea totală a țevilor, în m;

$$S = \frac{\pi dL}{1\,000} = \frac{\pi n dl}{1\,000} \text{ — suprafața de răcire a ansamblului, în m}^2.$$

Rezultă:

$$q = c \gamma v \theta_u = w \theta_a .$$

Pentru soluția de sodă: $c = 1, \gamma = 1;$ $v_s = \frac{q}{\theta_u};$

Pentru ulei: $c = 0{,}4, \gamma = 0{,}965;$ $v_u = 2{,}6 \frac{q}{\theta_u}.$

Pentru $\theta_u = 20°C$ ($\theta_u = 20°C$ și $\theta_a = 10°C$ sînt valori uzuale); va rezulta:

$$v_s = 0{,}05\ q, \qquad v_u = 0{,}13\ q.$$

Pentru apă rezultă, în ambele cazuri:

$$w = \frac{q}{\theta_a}$$

și pentru $\theta_a = 10°C$:

$$w = 0{,}1\ q.$$

Pentru a putea calcula suprafața de răcire trebuie să se cunoască coeficienții de transmitere a căldurii, care au fost determinați în mod experimental:

apă → oțel → apă: $k_a = 0{,}0403 + 0{,}00204\ \theta;$

ulei → oțel → apă: $k_u = 0{,}0114 + 0{,}000583\ \theta;$

deci pentru $\theta = 40°C$, rezultă:

$$k_a = 0{,}122 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\ °\text{Cs}}; \quad k_u = 0{,}0347 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\ °\text{Cs}};$$

$$q = k\tau S = \frac{\pi}{1\,000} k\, \theta\, n\, d\, l;$$

$$S = \frac{q}{k\theta}; \qquad n\,d\,l = \frac{1\,000}{\pi} \frac{q}{k\theta};$$

pentru $\theta = 40°C$ mai rezultă:

pentru apă: $S_a = 0{,}21\ q;$ $n\,d\,l = 65\ q.$

pentru ulei: $S_u = 0{,}72\ q;$ $n\,d\,l = 229\ q.$

În consecință 1 m² de suprafață de răcire în condițiile de mai sus poate absorbi:

$$\frac{1}{0{,}21} = 4{,}77 \text{ kcal/s}; \qquad \frac{1}{0{,}72} = 1{,}39 \text{ kcal/s};$$

sau:

$$4{,}77 \cdot 4{,}199 = 20{,}0 \text{ kW}. \qquad 1{,}39 \cdot 4{,}199 = 5{,}8 \text{ kW}.$$

Se construiesc în mod curent aparate cu o suprafață de răcire de la 5 m² la 50 m².

γ) *Reostat pentru reglajul vitezei.* Dacă viteza unui motor de P' [kW] sau P [CP] trebuie micșorată cu β % prin intermediul unui reostat (pentru mers permanent), rezultă:

$$1 \text{ kcal} = 4{,}199 \text{ kWs} = 5{,}71 \text{ CPs};$$

$$q = \frac{\beta P' [\text{kW}]}{4{,}199 \cdot 100} = 0{,}238 \frac{\beta}{100} P' = \frac{\beta P [\text{CP}]}{5{,}71 \cdot 100} = 0{,}175 \frac{\beta}{100} P [\text{CP}].$$

Va rezulta pentru $\theta_u = 20°C$ și $\theta_a = 10°C$:

pentru soluție de sodă:

$$v_s = 0{,}05\, q_\beta = 0{,}0119 \frac{\beta}{100} P' [\text{kW}] = 0{,}0088 \frac{\beta}{100} P [\text{CP}].$$

pentru ulei:

$$v_u = 0{,}13\, q_\beta = 0{,}0309 \frac{\beta}{100} P' [\text{kW}] = 0{,}0228 \frac{\beta}{100} P [\text{CP}].$$

δ) *Reostat pentru porniri repetate.* Dacă un motor de P' [kW] sau P [CP] trebuie să fie pornit de n ori consecutiv, se poate determina mai întîi cantitatea totală de căldură degajată în reostat:

$$Q = 0{,}119\, n\, P' [\text{kW}] t = 0{,}0876\, n\, P [\text{CP}]\, t.$$

Capacitatea calorică a reostatului fiind $c \gamma V \theta$, diferența între aceste valori reprezintă cantitatea de căldură care trebuie difuzată prin intermediul dispozitivului de răcire în intervalul de timp respectiv.

F. Construcția și dimensionarea rezistențelor metalice

45. Rezistențe din fire, benzi și fontă. Firele pentru rezistențe se fabrică din aliajele indicate la capitolul « Materiale electrotehnice »

Deoarece la fabricarea firelor este foarte greu să se respecte atît rezistența ohmică pe unitatea de lungime, cît și diametrul, și dat fiind că în calculul și construcția rezistențelor din fire nu este necesară respectarea riguroasă a ambelor condiții, se stabilesc numai rezistențele pe metru ale firelor cu toleranțe cuprinse între ±6 %, pentru fire subțiri, și ±3 %, pentru fire groase, iar diametrele corespunzătoare sînt cele nominale. În tabela 15 se indică aceste valori pentru fire din clasele de materiale menționate în capitolul « Materiale electrotehnice »

Tabela 15. Valorile rezistențelor pe metru ale materialelor și aliajelor trase în fire rotunde

Diametrul nominal *d*, mm	ρ=0,13Ω mm²/m Oțel zincat sau cositorit		ρ=0,30Ω mm²/m Argentan(Neusilber, Mailechort)		ρ=0,43Ω mm²/m Manganin-Nichelină		ρ=0,50Ω mm²/m Constantan, etc.		ρ = 1Ω mm²/m Cromnichel	
	Valoarea nominală Ω pentru 1 m	Toleranțe ±Ω pentru 1 m	Valoarea nominală Ω pentru 1 m	Toleranțe ±Ω pentru 1 m	Valoarea nominală Ω pentru 1 m	Toleranțe ±Ω pentru 1 m	Valoarea nominală Ω pentru 1 m	Toleranțe ±Ω pentru 1 m	Valoarea nominală Ω pentru 1 m	Toleranțe ±Ω pentru 1 m
0,03	—	—	—	—	608	36,5	707	42,5	1415	85
0,04	—	—	—	—	342	20,5	398	23,8	796	47,6
0,05	—	—	—	—	219	13,1	255	15,3	509	30,5
0,06	—	—	—	—	152	9,1	177	10,6	354	21,2
0,07	—	—	—	—	112	6,7	130	7,8	260	15,6
0,08	—	—	—	—	85,5	5,1	99,5	6,0	199	12,0
0,09	—	—	—	—	67,6	4,1	78,6	4,7	157	9,4
0,1	—	—	—	—	54,7	3,3	63,7	3,8	127,0	7,6
0,11	—	—	—	—	45,2	2,7	52,6	3,1	105,0	6,3
0,12	—	—	—	—	38,0	2,3	44,2	2,6	88,4	5,3
0,14	—	—	—	—	27,9	1,7	32,5	2,0	65,0	3,9
0,16	—	—	—	—	21,4	1,3	24,9	1,5	49,7	3,0
0,18	—	—	—	—	16,9	1,0	19,2	1,2	39,3	2,4
0,2	—	—	—	—	13,7	0,82	15,9	0,95	31,8	1,9
0,22	—	—	—	—	11,3	0,68	13,2	0,80	26,3	1,6
0,25	—	—	—	—	8,76	0,53	10,2	0,60	20,4	1,2
0,28	—	—	—	—	6,98	0,41	8,12	0,47	16,2	0,94
0,3	—	—	—	—	6,08	0,34	7,07	0,40	14,1	0,80
0,32	—	—	—	—	5,35	0,29	6,22	0,34	12,4	0,68
0,35	—	—	—	—	4,47	0,24	5,20	0,28	10,4	0,56
0,4	—	—	—	—	3,42	0,18	3,98	0,21	7,96	0,41
0,45	—	—	—	—	2,70	0,14	3,14	0,16	6,29	0,31
0,5	0,662	0,050	—	—	2,19	0,11	2,55	0,12	5,09	0,25
0,55	0,547	0,041	—	—	1,81	0,085	2,10	0,098	4,21	0,20
0,6	0,460	0,034	—	—	1,52	0,070	1,77	0,081	3,54	0,16
0,65	0,391	0,029	—	—	1,30	0,058	1,51	0,068	3,01	0,14
0,7	0,338	0,025	—	—	1,12	0,049	1,30	0,057	2,60	0,11
0,8	0,259	0,021	—	—	0,855	0,036	0,995	0,042	1,99	0,084
0,9	0,204	0,015	—	—	0,676	0,028	0,786	0,032	1,57	0,064
1	0,165	0,012	—	—	0,548	0,022	0,637	0,025	1,27	0,051
1,1	0,137	0,010	—	—	0,453	0,018	0,526	0,020	1,05	0,041
1,2	0,115	0,009	—	—	0,380	0,015	0,442	0,017	0,884	0,034
1,4	0,085	0,006	—	—	0,279	0,010	0,325	0,012	0,650	0,024
1,6	0,065	0,005	0,149	0,0053	0,214	0,0077	0,249	0,0089	0,497	0,018
1,8	0,051	0,004	0,118	0,0041	0,169	0,0060	0,196	0,0069	0,393	0,014
2	0,041	0,003	0,0954	0,0033	0,137	0,0047	0,159	0,0054	0,318	0,011
2,2	0,034	0,0026	0,0789	0,0026	0,113	0,0038	0,132	0,0044	0,263	0,0088
2,5	0,027	0,0020	0,0612	0,0020	0,0876	0,0029	0,102	0,0033	0,204	0,0066
2,8	0,021	0,0016	0,0486	0,0016	0,0698	0,0022	0,0812	0,0026	0,162	0,0052
3	0,018	0,0014	0,0426	0,0013	0,0608	0,0019	0,0708	0,0022	0,141	0,0045
3,3	0,015	0,0011	0,0351	0,0011	0,0504	0,0016	0,0585	0,0018	0,117	0,0036
3,5	0,014	0,0010	0,0312	0,00096	0,0447	0,0014	0,0520	0,0016	0,104	0,0032
4	0,010	0,00088	0,0239	0,00072	0,0342	0,0010	0,0398	0,0012	0,0796	0,0024
5	—	—	—	—	0,0219	0,00065	0,0255	0,0007	0,0509	0,0015
6	—	—	—	—	0,0152	0,00043	0,0177	0,0005	0,0354	0,0010
8	—	—	—	—	0,00855	0,00023	0,00995	0,00027	0,0200	0,00054
10	—	—	—	—	0,00548	0,00015	0,00637	0,00017	0,0127	0,00034

Dimensiunile rezistențelor în benzi nu sînt totdeauna stabilite și se fabrică tot din aliajele indicate la capitolul « Materiale electrotehnice », deobicei în:

grosimi de la 0,05 pînă la 2 mm;
lățimi de la 0,5 pînă la 60 mm.

Uneori se construiesc grătare de rezistență sau corzi de rezistență, atît din fire cît și din benzi, care sînt formate din plăci sau, respectiv, din șnur de asbest, pe care se înfășoară firele sau benzile de conductori rezistenți.

Încărcarea firelor de rezistență este determinată, în primul rînd, de rezistivitatea electrică a materialului.

Doarece două fire din materiale diferite, dar de aceleași dimensiuni exterioare, radiază sau difuzează aceeași cantitate de căldură, cantitatea de căldură desvoltată într-unul din fire va fi:

$$i_1^2 r_1 = i_1^2 \rho_1 \frac{4l}{\pi d^2},$$

unde ρ_1 este: rezistivitatea materialului respectiv;
l — lungimea firului;
d — diametrul firului.

Dacă i_1 și i_2 sînt intensitățile curenților, în cele două fire de materiale diferite, care produc aceeași creștere de temperatură, valorile acestor intensități vor fi legate de rezistivitățile ρ_1 și ρ_2 ale materialelor respective prin următoarea relație:

$$\frac{i_1}{i_2} = \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}}.$$

Deasemenea, densitățile de curent pe unitatea de secțiune, $\frac{i_1}{S}$ și $\frac{i_2}{S}$, vor fi în același raport între ele.

Din considerațiile de mai sus rezultă că absorbția aceleiași puteri, în cazul firelor de același diametru, dar de rezistivități diferite, necesită același volum de metal. Numai în cazul rezistențelor de valoare ohmică mare și cu densitate de curent redusă (neputîndu-se lua o secțiune mică, din considerente mecanice), este recomandabil a se întrebuința materiale cu o rezistivitate mare.

Pentru a se evita eventuale greșeli de fabricație în construcția rezistențelor industriale și pentru a ușura modificările și reparațiile la fața locului, se recomandă a se întrebuința unul sau două tipuri de materiale a căror rezistență specifică să fie bine determinată, de preferință în jurul valorilor 0,5 și 1 Ω mm²/m, din calitățile ρ = 0,50 Ω mm²/m și ρ = 1 Ω mm²/m.

Aliajele care conțin fier sau zinc nu rezistă la temperaturi mari și, din această cauză, ori de cîte ori funcționarea unui aparat este deosebit de importantă, este recomandabil a se întrebuința aliaje Cu — Ni (ρ = 0,50 Ω mm²/m), fără Fe sau Zn în conținut, sau cromnichel (ρ = 1 Ω mm²/m). Dacă rezistența trebuie să rămînă constantă la orice temperatură (cazul reostatelor de excitație), se va întrebuința constantanul sau alt aliaj cu un coeficient de temperatură mic, cu excepția manganinului, care nu poate suporta decît o temperatură foarte redusă.

Rezistența r la t°C va fi funcție de rezistență r_0 la 0°C și va fi dată de expresia:

$$r = r_0 (1 + \alpha t) = \rho \frac{l}{s} (1 + \alpha t).$$

Pentru rezistențele industriale confecționate din materiale aparținînd clasei ρ = 0,50 Ω mm²/m care sînt montate fix pe suporți izolanți necombustibili, se poate admite o temperatură maximă de 250°C.

Aerul, la ieșirea din carcasa aparatului în locul cel mai cald, poate avea o temperatură maximă de 200°C pentru rezistențe separate, iar pentru cele care sînt construite împreună cu comutatorul, respectiv într-o singură carcasă, tempe-

ratura maximă a aerului la ieșire nu trebuie să depășească 175°C în punctul cel mai cald. Carcasa propriu zisă a aparatului poate avea o temperatură maximă de 125°C.

Pentru rezistențele în ulei, temperatura uleiului în punctul cel mai cald nu trebuie să depășească 80°C, iar dimensionarea firelor trebuie să fie astfel făcută, încît firul să nu se încălzească în mod exagerat, ca să provoace arderea uleiului, formarea de bule de gaze sau carbonizarea uleiului pe firul de rezistență (v. tabela 16).

Tabela 16. Încărcarea firelor de rezistență din aliaj $\rho = 0{,}50\ \Omega\ mm^2/m$

Diametrul d, mm	Secțiunea $S = \frac{\pi}{4} d^2$	Funcționarea în regim permanent		Funcționarea în regim intermitent		Reostat de pornire (răcire cu aer)		Reostat de pornire (răcire cu ulei sau nisip)	
		i_d, A	$\frac{i_d}{S}$, A/mm²	i_i, A	$\frac{i_i}{S}$, A/mm²	i_p, A	$\frac{i_p}{S}$, A/mm²	i_u, A	$\frac{i_u}{S}$, A/mm²
0,1	0,0078	0,077	9,9	0,13	16,7	0,19	24,4	0,34	43,6
0,2	0,0314	0,24	7,6	0,41	13,4	0,58	18,8	1,0	31,8
0,3	0,0707	0,47	6,7	0,81	11,5	1,1	15,6	2,1	29,8
0,4	0,126	0,76	6,0	1,3	11,1	1,9	15,1	3,4	27,0
0,5	0,196	1,1	5,6	1,9	9,7	2,7	13,8	4,9	25,0
0,6	0,283	1,5	5,3	2,6	9,2	3,7	13,0	6,7	23,7
0,7	0,385	1,9	5,0	3,3	8,6	4,6	12,0	8,5	22,1
0,8	0,503	2,4	4,8	4,1	8,1	5,9	11,7	10,7	21,3
0,9	0,636	2,9	4,6	5,0	7,9	7,1	11,2	13,0	20,5
1,0	0,785	3,5	4,4	6,0	7,7	8,5	10,8	15,6	19,6
1,1	0,95	4,1	4,3	7,1	7,5	10,0	10,5	18,3	19,2
1,2	1,13	4,7	4,1	8,1	7,2	11,5	10,2	21,0	18,5
1,4	1,54	6,2	4,0	10,7	6,9	15,2	9,8	27,7	17,9
1,6	2,01	7,6	3,8	13,2	6,5	18,6	9,2	34,0	16,8
1,8	2,54	9,3	3,6	16,1	6,3	22,8	9,0	41,5	16,3
2,0	3,14	11,1	3,5	19,2	6,1	27,2	8,6	49,7	15,8
2,2	3,80	13,0	3,4	22,6	5,9	31,9	8,4	58,3	15,3
2,5	4,91	16,1	3,3	27,9	5,6	39,4	8,0	72,0	14,6
2,8	6,16	19,5	3,2	33,8	5,5	43,7	7,3	87,5	14,2
3,0	7,07	21,3	3,0	36,9	5,2	52,2	7,2	95,4	13,5
3,3	8,55	25,6	3,0	44,5	5,2	62,7	7,2	114	13,4
3,5	9,62	28,2	2,9	48,9	5,1	69,0	7,2	130	13,4

Pentru a determina încărcarea firelor, nu trebuie luată ca bază nici încărcarea constantă pe unitatea de secțiune, corespunzînd la $i_1 = \beta_1 d^2 = \beta_1 \sqrt[6]{d^{12}}$, nici radierea de căldură constantă pe mm² de suprafață, corespunzînd la $i = \beta_2 \sqrt{d^3} = \beta_2 \sqrt[6]{d^9}$. Prima formulă ar da o încărcare prea mică pentru fire subțiri, iar cea de a doua ar da o încărcare prea mare. Valoarea cea mai convenabilă este aceea corespunzînd la o putere a diametrului d între cele două limite precizate mai sus și anume:

$$i = \beta \sqrt[6]{d^{10}} = \beta \sqrt[3]{d^5} = \beta d \sqrt[3]{d^2}\ [A],$$

corespunzînd la o densitate de curent pe unitatea de secțiune de:

$$\frac{i}{S} = \frac{i}{\frac{\pi}{4} d^2} = \frac{4\beta}{\pi \sqrt[3]{d}}\ [A/mm^2].$$

Pentru $\rho = 0{,}48 - 0{,}50\ \Omega\ mm^2/m$, constanta β are următoarele valori:

$\beta_d = 3{,}5$ în serviciu permanent;

$\beta_k = \sqrt{3} \times 3{,}5 = 6{,}0$ pentru mașini de ridicat cu $\frac{t_f + t_r}{t_f} = 3$,

în care t_f este durata perioadei de funcționare; t_r — durata perioadei de repaus;

$\beta_p = \sqrt{6} \times 3{,}5 = 8{,}5$ pentru pornire de durată scurtă cu $\frac{t_f + t_r}{t_f} = 6$;

$\beta_u = \sqrt{20} \times 3{,}5 = 15{,}6$ pentru reostate de pornire cu răcire în ulei sau nisip.

Întrebuințînd formulele de mai sus, s-au obținut valorile din tabela 16 pentru o rezistență specifică de 0,50 Ω mm²/m.

Valorile din această tabelă se aplică firelor în spirală montate pe cadre, etc. S-a presupus că rezistențele, în cazul răcirii în aer, sînt montate la o distanță suficientă unele de altele și nu sînt prea înalte. Înălțimea acestora nu trebuie să depășească 60–80 cm.

Pentru fire de diametre mai mari, pentru benzi din materiale rezistente, ca și pentru alte diferite tipuri de elemente de rezistență, se pot dimensiona rezistențele la funcționare în regim permanent, conform formulei indicate de Uzinele HEMZ din U.R.S.S.:

$$P = \mu S \theta;$$

în care: P este puterea consumată în rezistența elementului respectiv, în W;

μ — un coeficient dat, în W/cm² grd.;

S — suprafața de cedare de căldură a elementului, în cm²;

θ — încălzirea, în °C, pe care o ia elementul considerat cînd acesta dezvoltă puterea P în mod permanent.

P se determină prin formula:

$$P = R_e I^2,$$

în care R_e este rezistența electrică a elementului considerat, în Ω;

I — curentul care îl traversează, în A.

În ce privește valoarea coeficientului μ și aprecierea suprafeței de cedare de căldură, Uzinele HEMZ recomandă valorile din tabela 17 pentru rezistențe și elemente curente.

Tabela 17. Coeficientul de cedare de căldură

Tipul rezistenței	μ W/cm² grd.	Suprafața de cedare de căldură
Fire rotunde în elice din constantan sau aliaje Cu-nichel	0,002	suprafața totală a firului
Rezistențe tubulare emailate așezate vertical .	0,0021	suprafața exterioară a tubului
Cilindri de porțelan cu fire de constantan sau cromnichel bobinate în șanțurile cilindrului.	0,0023	suprafața exterioară a cilindrului fără șanțuri
Elemente pe cadre cu înfășurări din fire rotunde sau bandă de constantan sau cromnichel	0,001 –0,0014	suprafața totală a firului sau benzii
Elemente de rezistență de fontă	0,001 –0,0013	suprafața totală a elementului
Reostate cu răcire în ulei, cuve netede ...	0,0015–0,0018	suprafața laterală a cuvei

Aerul trebuie să poată pătrunde liber printre rezistențe, circulația făcîndu-se fără obstacole. Partea superioară și inferioară a cutiei de rezistență trebuie să fie deschisă pentru trecerea aerului și poate avea deasupra o plasă de sîrmă, un grătar sau tablă perforată cu secțiune mare de trecere a aerului. În acest scop, minimum 60 % din suprafață trebuie să reprezinte goluri; în cazul cutiilor mici este bine ca și pereții laterali să fie perforați.

În cazul cutiilor mari, circulația nu este suficientă și se obișnuește a se construi pereții laterali din tablă plină mai înalți decît nivelul superior al rezistenței, formîndu-se astfel un gen de coș de tiraj care activează circulația de aer, aceasta devenind astfel uniformă.

Intensitatea de curent în reostat trebuie determinată destul de exact, deoarece puterea consumată în rezistență (deci difuzată sub formă de căldură), crește proporțional cu pătratul intensității.

Firele se fixează pe piese-suporți izolante, necombustibile. Construcția rezistențelor trebuie să evite posibilitatea atingerii între fire sau între acestea și alte piese ale aparatului, în urma dilatațiilor rezultate din încălzire sau din cauza lovirilor și sdruncinărilor inerente la transport. Dispozitivele adoptate pentru fixarea rezistențelor au o mare importanță în ceeace privește prețul de cost.

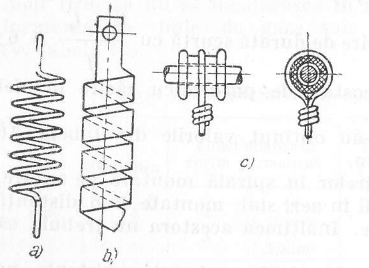


Fig. 69. — Rezistența în elice.
a — fire; *b* — bandă; *c* modul de suspendare.

Ca forme de realizare, se disting:

α) *Elice din fir rotund sau bandă* (fig. 69). Acestea nu sînt, în general, recomandabile decît pentru aparate staționare puțin expuse la trepidații și sdruncinături. Elicele se înfășoară pe un mandrin (dorn), dar trebuie să se țină cont că ele se destind puțin după fabricație.

În cazul unui material avînd $\rho = 0{,}50\ \Omega\ mm/m^2$, se obțin datele din tabela 18

Tabela 18. Încărcarea elicelor de fir rotund din aliaj $\rho = 0{,}50\ \Omega\ mm^2/m$

Diametrul firului, mm	Secțiunea, mm²	Numărul de metri pentru 1 Ω	Numărul de spire pentru 1 Ω și un mandrin cu diametrul (mm)			Numărul maxim de spire pentru 100 mm lungime	Intensitatea admisibilă în regim permanent, A
			7	8	10		
0,4	0,126	0,25	10	—	—	61	0,76
0,5	0,196	0,39	16	—	—	50	1,1
0,6	0,283	0,57	23	20	—	43	1,5
0,7	0,385	0,77	32	28	—	36	1,9
0,8	0,503	1,01	40	36	—	30	2,4
0,9	0,636	1,27	51	45	36	30	2,9
1,0	0,785	1,56	61	55	45	29	3,5
1,1	0,95	1,90	74	66	54	27	4,1
1,2	1,13	2,26	97	78	63	24	4,7
1,4	1,54	3,08	115	104	85	22	6,2
1,6	2,01	4,02	—	132	109	19	7,6
1,8	2,54	5,08	—	164	136	17	9,3
2,0	3,14	6,28	—	199	166	16	11,1
2,2	3,80	7,60	—	—	197	15	13,0
2,5	4,91	9,82	—	—	249	13	16,1
2,8	6,15	12,3	—	—	304	12	19,5
3,0	7,07	14,1	—	—	344	11	21,3
3,3	8,55	17,1	—	—	406	10	25,6
3,5	9,62	19,1	—	—	451	9	28,2

Elicele se mai pot executa și după datele conținute în tabela 19, indicate de V. A. Bulgacov[1]).

Tabela 19. Construcția elicelor din fir rotund

Diametrul firului, mm	0,8–1,0	1,1–1,4	1,5–1,9	2–2,5
Diametrul interior al spirei, mm	8	10	12	14
Distanța între spire după întindere, mm	2–3	3–4	3–4	3–4

Uneori se înfășoară elicele pe tuburi de asbest impregnat, pentru a le da rigiditate.

Elicele din bandă au o suprafață exterioară mare avînd totodată o secțiune mică, dar acestea sînt mai flexibile decît firul rotund și, prin urmare, aplicațiile lor sînt limitate.

Incărcările benzilor de 0,3 mm grosime și aliaj $\rho = 0{,}50\ \Omega\ mm^2/m$ sînt indicate, în tabela 20

Tabela 20. Încărcările elicelor din benzi de aliaj $\rho = 0{,}50\ \Omega\ mm^2/m$

Secțiunea benzii, mm²	Numărul de metri pentru 1 Ω	Diametrul mandrinului, mm	Spire		Intensitatea admisibilă, în regim permanent, A
			pentru 1 Ω	pentru 100 mm lungime	
6×0,3	3,75	10	109	12	10
8×0,3	5,00	10	144	9	13
10×0,3	6,25	12	151	7,3	17
12×0,3	7,50	12	177	6	20
14×0,3	8,75	12	204	5	23
16×0,3	10,00	12	230	4	26
18×0,3	11,30	12	256	3,5	30
20×0,3	12,50	12	276	3,3	35

Pentru elicele din benzi se pot lua și datele din tabela 21, indicate de V. A. Bulgacov, pentru benzi mai groase.

Tabela 21. Construcția elicelor din benzi

Lățimea benzii, mm	10	10
Grosimea benzii, mm	0,25–0,5	0,5–1
Diametrul interior al spirei, mm	12	14
Distanța între spire după întindere, mm	1,5–2,5	1,5–2,5

Elicele se suspendă pe cadre (fig. 69, *c*), prin intermediul suporților izolanți (role de porțelan, steatită etc.); aceste cadre nu trebuie să aibă o înălțime mai mare de 80 cm, iar suprafața cadrului trebuie să fie destul de mare, ca pentru 4,5 cm² suprafață de cadru să se disipeze în regim permanent maximum 1 W.

Elicele întrebuințate ca rezistențe de încărcare la platformele de încercări sau în centrale, unde este necesară o utilizare cît mai bună a materialului, fără însă a fi nevoie de protecția contra atingerii firelor de către persoane, se suspendă pe cadre

[1]) V. A. Bulgakov, *Elektriceskaia aparatura upravlenia*, Moskva-Leningrad, Gosenergoizdat, 1947.

în formă de şevalet. Acestea se compun din două cadre aşezate oblic unul faţă de celălalt la un unghi de 30° pînă la 45°, cadrele fiind din ţeavă de fier şi avînd izolatoare fixate pe laturile orizontale, iar elicele sînt fixate vertical. Se poate prevedea un număr de tiranţi orizontali cu izolatoare, pentru a împiedica atingerile între elice.

Extremităţile inferioare ale elicelor sînt racordate la borne sau la contactele unor întreruptoare cu pîrghie. Ventilaţia elicelor pe şevalet este foarte bună, deoarerece toate elicele sînt în contact cu aer rece şi se pot deci lua, pentru funcţionare permanentă, încărcările indicate în tabela 16, pentru funcţionare intermitentă. Astfel de rezistenţe pot difuza 1,1 kW pe 1 m² de suprafaţă de cadru şi pentru fire de 2 mm; pentru fire mai groase se poate lua proporţional mai mult. Pentru transport, se aşează ramele una peste alta.

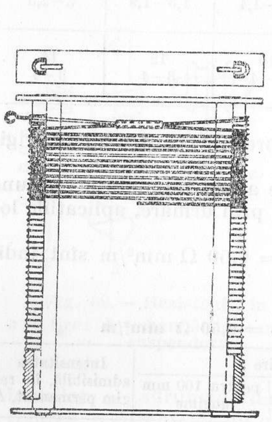


Fig. 70. — Rezistenţe cu fir rotund înfăşurat pe cadre.

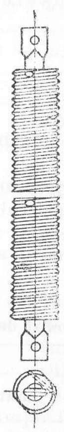


Fig. 71. — Rezistenţe cu fir rotund înfăşurat pe cilindri izolanţi.

β) *Fir rotund înfăşurat întins pe cadre.* Această dispoziţie (fig. 70) este preferabilă spirelor elastice. Rezistenţele cu fir înfăşurat pe cadre sînt în special întrebuinţate în cazurile în care rezistenţele sînt expuse la trepidaţii, ca în cazul maşinilor de ridicat. Firele foarte fine se înfăşoară pe lame de mică, fiind recomandabil ca marginile acestora să fie tăiate în formă de pieptene. Firele mai groase se înfăşoară pe cadre de tablă sau fier lat, izolate pe două laturi opuse cu izolatoare de porţelan cu şanţuri, în care intră firul de rezistenţă. Cadrele de fier izolate cu asbest nu sînt utilizabile, deoarece acesta este foarte higroscopic.

Izolatoarele de porţelan trebuie fixate cu chit special sau litargă pe cadrele metalice, întrucît, în caz contrar, se produc dese spărturi ale acestora. Este deasemenea necesar a se lua măsuri pentru a se evita deformarea cadrelor în timpul bobinajului. Este recomandabil ca lăţimea cadrelor, respectiv a bobinajului, să nu depăşească 150—200 mm pentru fire pînă la 1,4 mm diametru şi pot ajunge pînă la 400 mm lăţime pentru fire de 1,5—3,5 mm diametru.

Firele de 3 şi 3,5 mm diametru necesită o tracţiune mare în timpul bobinajului şi cadrele trebuie să fie în consecinţă robuste, pentru ca firele să poată fi bine întinse. Cînd cadrele au o lungime mai mare de 500 mm acestea trebuie să aibă o traversă la mijloc, sudată sau nituită. Şanţurile izolatoarelor de porţelan trebuie să aibă între ele o distanţă de circa 8 mm, pentru fire de 1,5—3,5 mm diametru.

γ) *Fir rotund, înfăşurat pe cilindri de porţelan.* Această dispoziţie (fig. 71) este în special recomandabilă pentru firele de diametru mic, deoarece acestea fiind aşezate în şanţul în formă de filet al cilindrului de porţelan, transmit acestuia o parte din căldură. În consecinţă, tabela 16 nu se aplică firelor înfăşurate pe cilindri de porţelan. In acest caz se poate lua o sarcină permanentă de 40 W pe cilindru de 100 mm lungime şi 31 mm diametru (0,1 m fiind lungimea unei spire). Diametrul cilindrilor nu trebuie să fie prea mare, astfel ca firele să nu iasă din şanţuri în cazul cînd s-ar încălzi foarte mult.

δ) *Fir rotund înfăşurat pe cilindri de porţelan neted şi lipit de acesta prin emailare.* Această metodă se aplică în cazul rezistenţelor de valoare mare şi deci numai firelor subţiri cuprinse, în general, între 0,13 mm şi 0,40 mm diametru, deoarece acestea sînt protejate contra aerului de stratul de email. Emailul se infiltrează între spirele apropiate una de alta şi le izolează între ele. Se obţin astfel rezistenţe de valoare ohmică mare, care, cu toate că sînt construite cu fire de secţiune mică, pot fi întrebuinţate în industrie, fiind robuste şi capabile de a suporta sarcini importante. Bornele de priză de curent sînt de cupru şi se înşurubează în găuri la extremităţile cilindrului, fixîndu-se în plus şi prin email.

ε) *Rezistenţe de fontă.* Rezistenţele de fontă sînt foarte des întrebuinţate ca rezistenţe de pornire sau ca rezistenţe de pornire şi reglaj, cu răcire în aer, pentru intensităţi mari şi servicii grele. Ele nu sînt recomandabile pentru reostate de excitaţie deoarece, din cauza coeficientului de temperatură ridicat al fontei, ar necesita revizuiri de reglaj repetate, în cazul unei încălziri apreciabile şi al unui număr mare de trepte.

Elementele de fontă sînt turnate în formă de zig-zag şi de o grosime pînă la minimum 2,5 mm.

Pentru turnarea elementelor de rezistenţă se întrebuinţează fontă cu siliciu, cum este cea recomandată de normele sovietice şi anume: 3,3—3,6 % C; 2,5—2,8 % Si; 0,6—0,8 % Mn.

Elementele de fontă au urechi de susţinere turnate împreună cu elementul de rezistenţă propriu zis. Elementele mici au două urechi, iar cele mai mari au trei sau patru urechi pentru a mări rezistenţa mecanică.

Elementele cu două urechi (fig. 72) au o foarte largă aplicare în U.R.S.S.

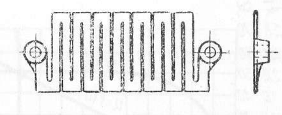


Fig. 72. — Element de rezistenţă din fontă.

În ce priveşte scara valorilor rezistenţelor electrice ale elementelor de fontă, cea mai recomandabilă este scara întrebuinţată în uzinele HEMZ şi Dinamo din U.R.S.S. şi care este o progresie geometrică cu raţia egală cu $\sqrt{2}$.

În general, elementele de fontă nu se protejează, deoarece oxidul care se formează numai la suprafaţă nu progresează în adîncime.

Urechile de susţinere vin găurite din turnare şi numai suprafeţele de contact urmează a fi polizate. Montajul cel mai simplu şi mai economic este de a se fixa elementele pe bare de fier izolate cu mică sau micanită, iar izolaţia între elemente să se facă cu rondele deasemenea din mică sau de micanită. Este recomandabil ca urechile să fie strînse prin intermediul unor arcuri spirale puternice, care să poată prelua diferenţele de dilataţie între urechi şi tija de suspensie, păstrînd în acelaşi timp un bun contact între urechi, atît la cald, cît şi, mai ales, atunci cînd urechile s-au răcit.

Această dispoziţie are oarecare inconveniente, în ceeace priveşte rezistenţa mecanică, deoarece elementele, în general subţiri, nu rezistă bine la sdruncinările din transport.

O altă dispoziţie constă în a fixa elementele prin plăci înguste de ardezie aşezate pe mijlocul elementelor şi transversal faţă de braţele în zig-zag ale elementelor. Conexiunile între elemente se fac prin şuruburi, iar o astfel de rezistenţă poate fi transportată fără a se mai lua precauţiuni speciale.

Încărcarea elementelor de fontă, raportată la rezistenţa la rece, este determinată de suprafaţa de cedare de căldură a acestora (suprafaţa de cedare de căldură este egală cu suprafaţa totală a elementului propriu zis, fără urechi).

Se pot lua următoarele valori pentru elemente de circa 3,5 mm grosime:

pentru sarcină de regim permanent	35 W/dm²;
pentru sarcină intermitentă	130—200 W/dm²;
pentru sarcină de scurtă durată	470 W/dm².

În cazul cînd grosimea elementelor este mai mare, încărcarea poate fi mărită foarte puțin, iar în cazul cînd grosimea este mai mică, sarcina trebuie micșorată proporțional cu scăderea grosimii. Încărcarea pe mm² de secțiune poate fi luată de 1,2–1,8 A, în cazul unei sarcini de regim permanent.

Se mai pot dimensiona elementele de fontă luînd ca bază cifra de transmisie a căldurii, care este pentru fontă-aer:

$$k = 0{,}001 - 0{,}0013 \quad \text{W/cm}^2\ \text{grd},$$

pe baza formulei:

$$P = k\, S\theta.$$

Căldura specifică a fontei este de 0,146.

ζ) *Rezistențe din fir de fier, pentru curent constant.* Cu toate că, în regulă generală, se întrebuințează pentru rezistențe un material al cărui coeficient de variație cu temperatura trebuie să fie cît se poate de redus, uneori este convenabil a se întrebuința un material al cărui coeficient de temperatură este foarte ridicat. Firul de fier posedă această calitate la temperaturile corespunzătoare, de la roșu închis pînă la roșu deschis. Pentru a împiedica oxidarea fierului și a obține o radiere suficientă de căldură firele sînt închise în tuburi de sticlă într-o atmosferă rarefiată de hidrogen, fiind oarecum similare lămpilor cu incandescență. Cu aceste rezistențe, este posibil a se menține într-un circuit intensitatea curentului practic constantă, cînd rezistența totală a circuitului variază foarte mult sau cînd tensiunea rețelei oscilează între limite foarte mari. Aceste rezistențe servesc ca rezistențe-serie și de amortizare pentru lămpi cu arc, pentru a menține constantă excitația unor anumite mașini (de exemplu, mașinile de curent continuu tahimetrice), în cazul cînd tensiunea rețelei este variabilă, ca reostate de pornire automate pentru motoare, ca rezistențe de etalonaj pentru contoare etc. În diagrama din fig. 73 se dau rezultatele măsurătorilor făcute cu o rezistență de mare capacitate avînd diametrul exterior de 50 mm, formată din șase elice avînd o lungime totală de 1 800 mm.

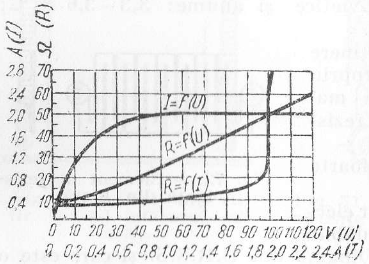


Fig. 73. – Diagramele unei rezistențe pentru curent constant:
$I=f(U)$, curentul în funcție de tensiune; $R=f(U)$, rezistența în funcție de tensiune; $R=f(I)$, rezistența în funcție de intensitatea curentului.

Această rezistență pentru 2 A și maximum 110 V, poate menține intensitatea practic constantă la o tensiune între 50 și 100 V, rezistența sa crescînd în acest caz de la 25 la 55 Ω. Se poate astfel regla tensiunea de la 45 la 100 % din valoarea ei nominală.

Calculul acestor rezistențe se face în felul următor:

Fie U tensiunea maximă pe care o poate lua rezistența de fier; P_1 – puterea maximă consumată la utilizare; U_1 – tensiunea cea mai mică a rețelei intervenind în acest caz; P_2 – puterea minimă consumată la utilizare; U_2 – tensiunea cea mai mare a rețelei în al doilea caz limită.

Puterea consumată în rezistența de fier este 0,45 UI, respectiv 1,0 UI, în cele două cazuri limită, I fiind curentul în circuit.

Rezultă:

$$P_1 + 0{,}45\, U I = U_1 I;$$
$$P_2 + 1{,}0\, U I = U_2 I;$$

$$I = \frac{P_1 - 0{,}45\, P_2}{U_1 - 0{,}45\, U_2};$$

$$U = \frac{U_2 P_1 - U_1 P_2}{P_1 - 0{,}45\, P_2}.$$

Tensiunea la bornele rezistenței de utilizare variază între:

$$U_1 - 0{,}45\, U \text{ și: } U_2 - 1{,}0\, U$$

și rezistența de utilizare însăși variază între:

$$R_1 = \frac{P_1}{I^2} \text{ și: } R_2 = \frac{P_2}{I^2}.$$

Dacă rezistența de utilizare este constantă ($P_1 = P_2 = P$) și variază numai tensiunea, rezultă:

$$I = \frac{0{,}55\, P}{U_1 - 0{,}45\, U_2} \quad \text{și} \quad U = \frac{U_2 - U_1}{0{,}55}.$$

Se iau deobicei fire subțiri pentru ca variația rezistenței să aibă loc într-un timp scurt. În general, variația durează 2 s pentru o variație bruscă de tensiune de 25 % din cea nominală.

46. Calculul algebric și grafic al rezistențelor conectate în paralel. Calculul rezistențelor conectate în paralel se face conform formulei:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \ldots,$$

în care r_1, r_2, r_3, ... sînt rezistențele parțiale conectate în paralel iar r este rezistența totală sau echivalentă a sistemului astfel format.

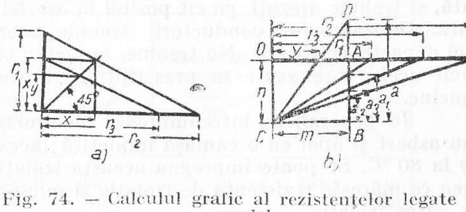


Fig. 74. – Calculul grafic al rezistențelor legate în paralel.

Uneori este convenabil a determina în mod grafic aceste rezistențe și, în acest sens, se dau mai jos două metode:

α) Pe cele două laturi ale unui unghi drept (fig. 74, *a*) se iau r_1 și r_2 și apoi se găsește punctul de intersecție al diagonalei cu bisectoarea unghiului drept (dreapta la 45° din figură), obținîndu-se:

$$\frac{r_1 - x}{x} = \frac{x}{r_2 - x};$$

$$x = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}; \quad \frac{1}{x} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$$

Dacă sînt trei rezistențe conectate în paralel, procedeul trebuie repetat determinîndu-se punctul de intersecție între bisectoare și diagonala corespunzătoare rezistențelor x și r_3.

Se obține astfel y:

$$\frac{1}{y} = \frac{1}{x} + \frac{1}{r_3} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}.$$

β) Pe direcția laturii OA a unui pătrat oarecare $OABC$ (fig. 74, *b*) se iau rezistențele parțiale r_1, r_2, r_3 prin segmente la scară, și extremitățile acestor segmente se unesc cu punctul C.

Rezultă (fig. 74, *b*):

$$\frac{a_1}{m} = \frac{n}{r_1}; \quad a_1 = \frac{mn}{r_1}; \quad a_2 = \frac{mn}{r_2}; \quad a_3 = \frac{mn}{r_3}.$$

Dacă se duce $BD = a = a_1 + a_2 + a_3$ și dacă se duce dreapta CD, se obține:

$$\frac{y}{n} = \frac{m}{a}; \quad \frac{1}{y} = \frac{a}{mn} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}.$$

47. **Conductori de legătură pentru reostate și rezistențe.** Legăturile din reostate sînt supuse, în general, la temperaturi ridicate din cauza căldurii degajate de rezistențe, pe de o parte, iar pe de altă parte fiind dificil a se așeza un număr mare de conexiuni de secțiune importantă într-un spațiu restrîns. Trebuie evitată întrebuințarea conductorilor izolați în vînă de cauciuc sau cu bandă cauciucată, deoarece cauciucul nu trebuie să fie supus la o temperatură mai mare de 50°C. Cînd totuși se întrebuințează conductori cu un izolant cuprinzînd cauciucul, în special pentru aparate mai importante de tensiuni mai înalte, trebuie întrebuințați conductori izolați numai în vînă de cauciuc, și în niciun caz cu bandă cauciucată, și trebuie așezați pe cît posibil în așa fel, încît să nu fie direct expuși la căldură. De exemplu, conductorii trebuie așezați dedesubtul rezistențelor și cît mai departe de acestea. Nu trebuie, în niciun caz, să se admită intensități mai mari decît acelea prevăzute în prescripțiile respective pentru conductori izolați cu cauciuc.

În general, se întrebuințează conductori izolați cu un strat de bumbac sau asbest și apoi cu o cămașă împletită; acestia pot suporta o temperatură de la 70 la 80 °C. Se poate impregna această izolație de mai multe ori cu oxid de zinc, ceea ce mărește rezistența de izolație și micșorează puterea de absorbție a umezelii de către izolație.

Cînd acest gen de izolație nu este suficient, se pot întrebuința mărgele de sticlă sau, de preferință, din porțelan. Acestea constituie un bun izolant, dar se pot sparge ușor la transport, din cauza sdruncinărilor sau a încovoierii firelor.

În plus, mărgelele alunecă ușor în lungul firelor, astfel încît firele care se încrucișează se pot atinge între ele.

Legăturile cele mai sigure sînt acelea din fire rotunde sau bare late neizolate, fixate solid pe bornele de contact sau prin izolatoare de porțelan. Acest sistem se poate aplica, în general, numai la aparatele mari și cu un număr limitat de legături (conexiuni).

În ceeace privește dimensionarea firelor rotunde, nu este recomandabil a se întrebuința fire de peste 8 mm diametru (50 mm² secțiune), atît din cauza suprafeței lor reduse de radiere, cît și din cauza efortului pe care îl dau în buloanele de conexiune. Pentru secțiuni mai mari este preferabil a se întrebuința doi sau mai mulți conductori în paralel. În cazul intensităților mari, este recomandabil a se întrebuința bară lată de cupru, care are o suprafață mare de răcire în raport cu secțiunea și care se fixează ușor la punctele de conexiune (tabela 22).

Tabela 22. Intensitățile admisibile pentru conductoare de legătură în aparate de pornire și reglaj

a) *Fir rotund*

Secțiunea totală,	Numărul și diametrul firelor		Intensitățile admisibile pentru: Fir de cupru neizolat sau izolat cu bumbac sau asbest		Fir izolat în vînă de cauciuc	
mm²	număr	mm	regim permanent A	regim intermitent A	regim permanent A	regim intermitent A
1		1,13	13	15	11	13
1,5		1,38	17	20	14	17
2,5		1,79	24	30	20	24
4		2,26	32	40	25	31
6	1	2,77	42	52	31	39
10		3,57	60	76	43	54
16		4,52	80	104	75	97
25		5,65	110	143	100	130
35		6,68	140	187	125	167
50		7,98	160	246	160	219
2×10=20	2	3,57	120	152	86	108
2×16=32	2	4,52	160	208	150	194
2×25=50	2	5,65	220	286	200	260
3×25=75	3	5,65	330	429	300	390
4×25=100	4	5,65	440	572	400	520

b) *Bare de cupru lat*

Secțiunea totală, mm²	Dimensiunile: grosime × lățime, mm	Încărcare admisibilă în regim: permanent A	intermitent A	Secțiunea totală, mm²	Dimensiunile: grosime × lățime, mm	Încărcarea admisibilă în regim: permanent A	intermitent A
60	3×20	230	280	250	5×50	600	750
80	4×20	275	340	300	5×60	680	850
100	5×20	310	390	360	6×60	750	940
120	4×30	370	460	420	7×60	800	1 020
160	4×40	450	560	480	8×60	870	1 120
200	5×40	510	640				

G. Comutatoare întrebuințate în aparatele de pornire și reglaj

48. **Clasificare.** Din cele expuse în paragrafele precedente, reiese că pentru toate rezistențele metalice împărțite în trepte, este necesar a avea un dispozitiv de comutare, cu ajutorul căruia să se poată introduce sau scoate, din circuitul respectiv, una sau mai multe trepte de rezistență.

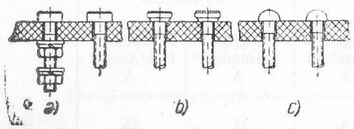
Aceste comutatoare se pot împărți în două mari grupe, după tipurile generale utilizate.

— Tipul normal format plan, cu ploturi fixe și perii mobile, și format colector cu perii mobile.

— Tipul controler format tobă, cu cilindru mobil și perii fixe, și modelul cu came.

În cele ce urmează se vor da descrierea sumară și datele asupra tipurilor de comutatoare și ale derivatelor acestora, de o întrebuințare curentă în industrie.

49. **Comutatoare format plan, cu ploturi fixe și perii mobile, și format colector cu perii mobile.** Comutatoarele format plan, cu ploturi, sînt întrebuințate în mod curent la reostatele de pornire metalice, pentru porniri puțin frecvente, ca și pentru reostatele de excitație. Acest tip de comutator, întrebuințat în trecut și pentru reostatele de reglaj, a fost în ultimul timp înlocuit, la aceste reostate, prin comutatoare de tip controler.


Fig. 75. — Diferite tipuri de ploturi: *a*, *b*,— cu cap plat ; *c* — cu cap semisferic

Contactele fixe, denumite ploturi, sînt de formă rotundă pentru intensitățile mici și de forme trapezoidale pentru intensitățile mai mari. Aceste contacte sînt montate pe plăci izolante, fiind dispuse pe o circumferință.

Pentru reostatele foarte divizate (cu un număr mare de trepte), în general, pentru intensități reduse (reostate de excitație), ploturile rotunde se pot așeza în zig-zag pe două circumferințe concentrice. Este bine a se lua atît pentru ploturile rotunde, cît și pentru cele trapezoidale, aceeași înălțime, pentru ca în fabricație să se poată trece ușor dela un tip de ploturi la altul.

Materialele cele mai des întrebuințate pentru execuția plăcilor pe care se fixează ploturile sînt: marmora, ardezia și materiale izolante artificiale. Grosimea plăcilor trebuie astfel aleasă ca să reziste la eforturile mecanice normale și mai ales la eventualele șocuri pe care le pot primi în manipulație și transport. Este bine a se lua un număr redus de grosimi de plăci (de exemplu 10, 20, 25 și 30 mm), pentru a limita tipurile de borne pentru ploturi de lungimi diferite.

Ardezia se prelucrează mai ușor decît marmora, dar nu poate fi întrebuințată decît pentru aparate funcționînd la o tensiune de maximum 250 V, pe cînd marmora poate fi întrebuințată pînă la 600 V; dacă liniile de conturnare ale plăcilor au lungimi suficiente, se poate întrebuința pînă la 1 200 V.

Ca materiale izolante artificiale se întrebuințează eternitul, denumit și asbociment, care are însă desavantajul de a fi foarte higroscopic, dacă nu este impregnat. În U.R.S.S. se întrebuințează pe scară foarte mare impregnat, după ce a fost uscat în prealabil.

Materialul cel mai convenabil pentru ploturi este cuprul, dar se întrebuințează pe o scară foarte mare și alama, deoarece este mai economică, atît din punct de vedere al prețului de cost al materialului, cît și datorită faptului că se prelucrează mai ușor.

Ploturile rotunde se întrebuințează pentru comutatoare care suportă maximum 80—100 A. Capetele ploturilor sînt plate (fig. 75 *a*, *b*) sau semisferice (fig. 75, *c*); cele cu suprafața de contact plată au marginea superioară teșită la 45°, pe 0,5—0,75 mm.

Bornele sînt filetate și plotul se fixează pe placa izolantă cu rondelă plată, inel de siguranță și piuliță (fig. 75, *a*). Conexiunile (fire sau bare late) se fixează în același mod. În locul inelului de siguranță se poate pune o contrapiuliță joasă.

Cînd contactul cu peria se face pe o suprafață, ploturile cu capul plat suportă o densitate de curent de 0,25—0,40 A/mm² pe suprafața de contact, și cînd contactul cu peria se face pe o linie (perii cu degete), densitatea suportată va fi 5—7,5 A/mm pe linia de contact.

În tabela 23 se dau caracteristicile ploturilor cu cap plat pentru dimensiuni curente și regim permanent de funcționare.

Tabela 23. Încărcarea ploturilor cu cap plat pentru regim permanent

Plot		Contact de suprafață			Contact liniar		
			Densitatea de curent			Densitatea de curent	
Diametrul exterior al capului mm	Filet bornă	Intensitatea maximă admisă A	pe suprafața de contact, A/mm²	în secțiunea bornei, A/mm²	Intensitatea maximă admisă, A	pe linia de contact, A/mm²	în secțiunea bornei, A/mm²
8	M 4	20	0,4	1,6	20	2,5	1,6
10	M 5	30	0,38	1,53	45	4,5	2,3
12	M 5	45	0,4	2,3	60	5,0	3,05
15	M 6	60	0,34	2,13	80	5,3	2,33
20	M 8	80	0,25	1,6	100	5,9	2,0

Pentru sarcini de scurtă durată, de exemplu ploturile reostatelor de pornire (cu excepția ultimului plot, acestea se dimensionează ținîndu-se cont de condițiile de comutație. Se pot însă utiliza și datele din tabela 23 , înmulțind valoarea intensității maxime admise din această tabelă cu 1,3—1,5 și se obține astfel valoarea maximă pe care o poate avea curentul nominal al motorului pentru plotul respectiv.

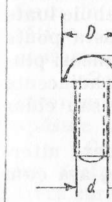
Dacă se ia în considerație curentul mediu de pornire al motorului, valorile din tabelă se vor înmulți cu 1,7—2, deoarece curentul mediu de pornire se ia în general 1,3 din curentul nominal.

Tipul de ploturi cu capul plat se prelucrează din bară, deobicei la strungul-revolver. În unele construcții se întrebuințează și ploturile rotunde cu cap separat, bulonul de fixare fiind filetat la ambele capete și înșurubîndu-se în plot similar celui reprezentat pentru ploturi trapezoidale,

Pentru a se evita prelucrarea și deșeurile de material, se întrebuințează ploturi cu cap semisferic, care se pot fabrica prin presare la rece. Acest tip de plot este curent întrebuințat de fabrica HEMZ, din Uniunea Sovietică. Contactul, în acest caz, se face pe o suprafață foarte mică (aproape punctiformă), pe care presiunea periei este foarte mare și deci se asigură un contact foarte bun.

Încărcarea acestui tip de ploturi se poate lua conform datelor din tabela 24, indicate de fabrica HEMZ.

Tabela 24. Încărcarea ploturilor cu cap semisferic

Tipul plotului	Dimensiunile plotului, în mm				Intensitatea admisibilă, A
	d	*D*	*h*	Filet	
	4	7	3,2	M 4	20
	5	9	4	M 5	40
	6	10	5	M 6	60
	8	13	6	M 8	80

Pentru intensitățile care depășesc 100 A, se întrebuințează numai ploturi trapezoidale.

Densitatea de curent pe suprafața activă a capului se va lua de: 0,25—0,35 A/mm², cînd contactul se face pe suprafață cu perii masive; 0,4—0,7 A/mm²,

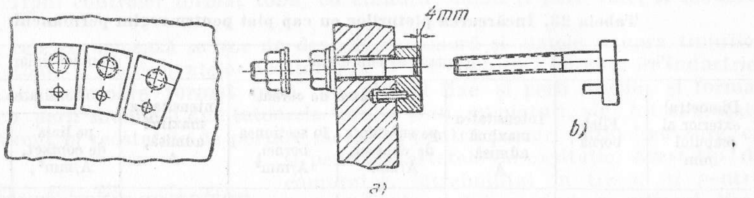


Fig. 76. — Ploturi trapezoidale:
a — cu cap separat; *b* — presat dintr-o bucată.

cînd contactul se face pe suprafață cu perii lamelate; 5—7,5 A/mm, cînd contactul se face pe o linie (perii cu degete).

Ploturile trapezoidale se execută în diferite tipuri de construcție. Astfel sînt ploturi cu cap separat de bulon (fig. 76,*a*) ploturi cu bulonul dintr-o singură

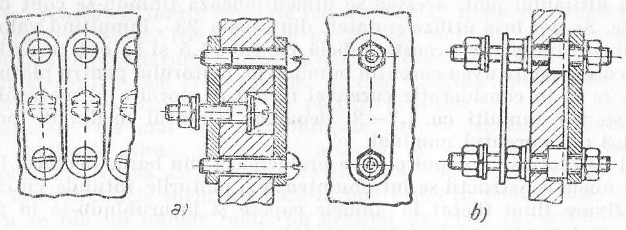


Fig. 77. — Ploturi cu cap separat:
a — fixate cu șuruburi cu cap semisferic; *b* — fixate cu buloane speciale.

bucată (fig. 76,*b*), acestea din urmă fiind fabricate la presă la cald. Se construiesc ploturi cu cap separat (fig. 77) la care capetele se pot înlocui fără a fi nevoie să se demonteze bulonul și firul de conexiune la rezistență.

Este recomandabil ca ploturile trapezoidale să se facă mai lungi pe direcția radială, deoarece la trecerea periei de pe un plot pe altul, în primul moment curentul trece prin muchia radială a plotului. Din această cauză nu se fac ploturi cu o lățime mai mare de 25 mm. Pentru cazul intensităților mari, buloanele trebuie luate destul de groase; dar aceasta poate avea drept consecință ca uneori piulițele și rondelele ploturilor adiacente să se apropie foarte mult sau chiar să se poată atinge.

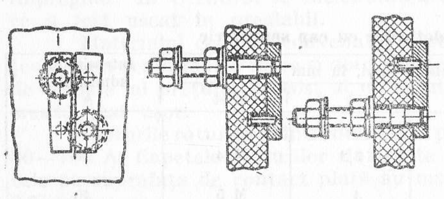


Fig. 78. — Ploturi cu buloane de fixare alternate.

În acest caz se construiesc două tipuri de ploturi care se montează alternate, buloanele celor două serii găsindu-se pe două circumferințe diferite, așa cum este arătat în fig. 78.

În cazul cînd reostatul trebuie să aibă rezistența deconectată pe ultima poziție, ploturile de pe această poziție se pot executa, fie din același material ca restul ploturilor, fără a fi conectate, fie din material izolant, porțelan sau steatită. În ultimul caz, înălțimea ploturilor izolate trebuie să fie mai mică cu circa 2 mm decît aceea a ploturilor din metal, adăugîndu-se la montaj, sub ploturi, bucăți de preșpan, pentru a le aduce la aceeași suprafață. Pe măsura uzurii ploturilor metalice, ploturile izolate se pot ajusta, scoțîndu-se bucățile de preșpan după necesități.

Pentru racordarea conductelor care merg la rețea și la motor, se întrebuințează borne. Încărcările acestora sînt date în tabela 25. În cazul intensităților mari bornele sînt filetate cu filet pentru țevi, pentru a nu micșora în mod inutil secțiunea de trecere a curentului.

Tabela 25. Încărcarea bornelor

Materialul bornelor	Alamă			Cupru		
Diametrul bornelor, în mm	4,5	6	8	10	14	20
Intensitatea, în A — regim permanent	25	[illegible]	100	200	350	600
Intensitatea, în A — regim intermitent	35	[illegible]	140	280	500	850

Periile de contact, mobile la aceste tipuri de comutatoare, sînt fixate pe o manetă solidarizată cu axul de comandă, astfel încît, prin manevrarea acestuia, periile se rotesc pe ploturi. În cazul intensităților mici, periile sînt masive, fixate pe una sau mai multe lame elastice; în cazul intensităților mai mari, periile sînt formate din lame elastice care apasă direct pe plot (v. fig. 81). În ambele cazuri, lamelele elastice formează, pe de o parte, conductorul de curent, iar pe de alta asigură și presiunea necesară între cele două suprafețe în contact (plot și perie). La aceste tipuri de perii se întrebuințează pentru lamele elastice tombacul (85 % Cu), atît datorită calităților acestuia de conductibilitate relativ ridicată (rezistivitate $\rho = 0{,}05\ \Omega\ \text{mm}^2/\text{m}$), cît și pentru calitățile sale mecanice (elasticitate mare: modulul de elasticitate $E = 10\,000 - 11\,000\ \text{kg/mm}^2$, rezistența la întindere $\sigma_B = 30-38\ \text{kg/mm}^2$).

Priza de curent se face prin o a doua perie, conectată electric cu prima și care freacă pe un sector circular concentric cu ploturile și de aceeași înălțime cu acestea, lățimea radială a sectorului circular fiind funcție de intensitate. Periile trebuie să fie izolate de ax, deoarece este interzis a se face priza de curent prin axul de comandă, acesta trebuind să fie legat cu corpul aparatului și prin acesta la pămînt.

Tipurile de perii de mai sus au, însă, următoarele dezavantaje: contactul nu se poate asigura absolut pe toată suprafața de contact și piesele care asigura forța de apăsare pe plot sînt și conductoare de curent, astfel încît la supraintensități se încălzesc și își pot pierde calitățile de elasticitate, ceeace ar avea ca efect contacte imperfecte, care ar da naștere la distrugerea ploturilor și a periilor.

Pentru a elimina aceste defecte, uzinele din U.R.S.S. construiesc perii a căror suprafață este cilindrică, contactul avînd loc pe o generatrice, iar forța de apăsare a periei pe ploturi este asigurată de un arc spiral de oțel.

Contactul de pe o linie (liniform) este mult mai sigur decît cel pe o suprafață, iar forța de apăsare este mai bine asigurată de arcul elicoidal prin care nu trece curent.

Pentru intensităţi mici şi medii există modelul punte, în care peria este formată dintr-o singură piesă ştanţată din tablă de cupru sau alamă, avînd suprafeţele de contact cilindrice. Peria calcă cu un capăt pe ploturi şi cu celălalt capăt pe sectorul de contact, iar arcul, apăsînd la mijloc, asigură forţe de apăsare convenabile şi egale, atît pe sector, cît şi pe plotul respectiv (fig. 79).

Pentru intensităţi mai mari, fabrica HEMZ din U.R.S.S. întrebuinţează o perie tot cu contact liniform cu un deget amovibil, de tipul degetelor întrebuinţate pentru controlere (fig. 80). Forţa de apăsare pe plot este asigurată tot de un arc elicoidal, reglabil printr-un şurub, iar legătura electrică între deget şi şurubul de fixare al conexiunii este formată dintr-o serie de lame subţiri de cupru, foarte flexibile (0,1 – 0,15 mm grosime).

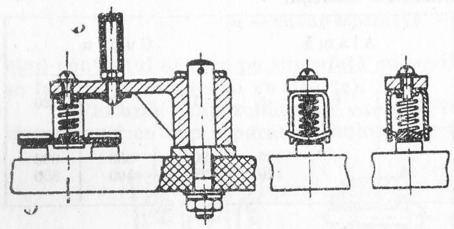


Fig. 79. — Perie cu contact liniform ştanţată.

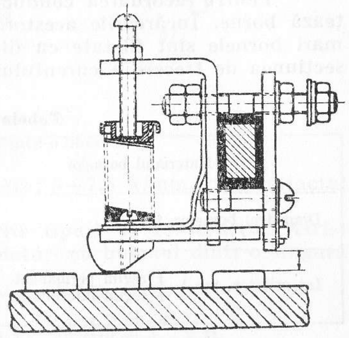


Fig. 80. — Perie cu contact liniform cu deget amovibil.

Densităţile de curent pe suprafaţa de contact a periei sînt cele indicate la ploturi şi anume:

perii masive rotunde 0,25 – 0,40 A/mm²;
perii masive trapezoidale 0,25 – 0,35 A/mm²;
perii lamelate 0,4 – 0,7 A/mm²;
perii cu contact liniar 5 – 7,5 A/mm.

Aceste valori sînt pentru funcţionarea în regim permanent, luîndu-se limitele inferioare pentru perii de dimensiuni mari şi limitele superioare pentru perii de dimensiuni mici.

Pentru a asigura un bun contact, presiunile între piesele de contact (cupru pe alamă) vor fi următoarele:

contacte de suprafaţă (perii masive sau laminate) 1,5 – 2,5 kg/cm²;
contacte liniforme 1,5 – 2,5 kg/cm.

Se ia presiunea minimă pentru aparatele cu manevrări frecvente şi presiunea maximă pentru aparate cu manevrări puţin frecvente.

În cazul cînd, din motive constructive, densitatea de curent pe suprafaţa de contact este mai mică decît valorile de mai sus, se poate reduce şi presiunea de contact la valorile respective de 0,5 – 1,0 kg/cm² pentru contacte de suprafaţă şi 0,5 – 1,0 kg/cm pentru contacte liniare.

Periile masive trebuie să fie astfel ajustate, încît să calce pe toată suprafaţa lor.

Periile lamelate au o poziţie oblică pe ploturi (fig. 81). Unghiul cel mai convenabil dintre suprafaţa ploturilor şi poziţia de fixare a periilor este $\alpha = 30°$.

Se obţine un bun contact atunci cînd între foi rămîne un mic spaţiu de aer şi pentru aceasta este necesar ca foile din care este formată peria să fie teşite la un unghi $\beta = 25°$. Pentru un unghi de fixare al periilor $\alpha = 30°$, suprafaţa de contact a periilor este egală cu de două ori secţiunea dreaptă a acestora. Acest fapt este convenabil, deoarece densitatea maximă de curent în secţiune, rezultată din densitatea de curent admisă pe suprafaţa de contact, nu depăşeşte limita admisibilă.

Pentru o sarcină în regim permanent se pot lua, pentru perii lamelate, încărcările din tabela 26.

Tabela 26. Incărcarea periilor lamelate

Lăţimea periilor	*b*	10	15	20	25	30	35
Densitatea de curent A/mm²	Pe suprafaţa de contact	0,67	0,55	0,50	0,47	0,45	0,37
	în secţiunea dreaptă	1,34	1,10	1,00	0,94	0,90	0,74

Dacă grosimea periilor este mare, valorile din tabelă trebuie micşorate.

Lamelele din care este formată o perie trebuie să fie puţin sudate sau cositorite în partea unde se fixează pe manetă, iar porţiunea cositorită trebuie să fie mică, astfel încît să nu prejudicieze elasticitatea periei înafara punctului de fixare. Încălzirea periilor nu trebuie să depăşească 30°C pentru periile lamelate (sau lama elastică a celor cu piese de contact masive) şi 75°C pentru partea masivă a periei ca şi pentru degete.

Periile masive rezistă mai bine la acţiunea scînteilor decît cele lamelate.

Pentru a limita scînteile de ruptură, care sînt în special importante pe ultimul plot, se poate întrebuinţa o *bobină de suflaj*, aşa cum s-a arătat la paragraful 9. Pentru a limita scînteile pe toate ploturile, în cazul unui regim greu, se poate

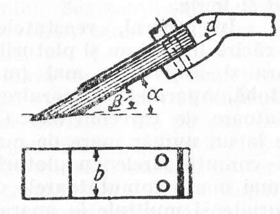


Fig. 81. — Perie lamelată.

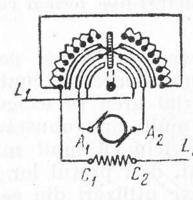


Fig. 82. — Comutator cu contacte inversoare pentru motor de curent continuu serie.

întrebuinţa o bobină de suflaj centrală cu miez de fier, mobilă împreună cu maneta pentru închiderea circuitului magnetic; este însă preferabil a se întrebuinţa comutatoare de tip controler, cu bobine de suflaj magnetic.

Sectoarele de contact se întrebuinţează şi pentru schimbarea de sens de rotaţie al motorului, dacă se cere această condiţie, ca în cazul arătat în fig. 82, pentru un motor serie. Numărul sectoarelor este însă limitat pentru comutatoarele cu ploturi, iar în cazul cînd este necesară inversarea de sens, este preferabil a se întrebuinţa comutatoare de tip controler, acestea putînd avea un număr oricît de mare de sectoare pentru acest scop.

Pentru regimuri mai grele şi intensităţi mai mari, se construiesc comutatoare tot cu ploturi fixe şi perii mobile format colector, dar care au suprafaţa de contact între ploturi şi perii de formă cilindrică (fig. 83).

Ploturile sînt montate tot pe o placă izolantă, rotundă în acest caz, şi sînt în formă de cornier, fixîndu-se pe suprafaţa plană a plăcii izolante.

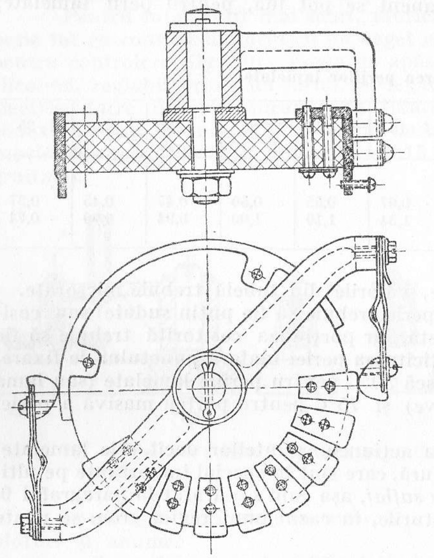


Fig. 83. — Comutator cu contacte mobile cilindrice şi ploturi fixe, format colector.

Periile calcă, pe de o parte, pe suprafaţa cilindrică a ploturilor, iar pe de alta pe sectorul de priză de curent, care este tot de formă cilindrică şi fixat pe partea plăcii izolante opusă ploturilor.

În acest caz, periile sînt de tipul cu degete.

În loc ca ploturile să fie fixate pe o placă izolantă, se poate ca acestea să aibă forma unui colector de maşină de curent continuu, fiind izolate între ele cu mică.

Aceste tipuri de comutatoare prezintă avantajul de a avea gabarite mici pentru un număr mare de trepte şi necesită un cuplu mic de manevrare: în schimb au o construcţie complicată şi deci un cost ridicat. Se întrebuinţează în special pentru reostatele metalice sub ulei şi prezintă în plus avantajul de a avea suprafeţele de contact dispuse vertical, astfel încît se evită depozitele care se formează pe ploturile plane care sînt dispuse orizontal şi împiedică deseori un contact intim între plot şi perie.

În general, reostatele metalice cu răcire în ulei au şi ploturile şi periile sub ulei, ceeace împiedică perlarea acestora şi asigură o mai bună răcire.

50. **Comutatoare tip controler format tobă.** Aparatele de pornire sau reglaj de tip industrial greu se execută cu comutatoare de tip controler. Construcţia acestora este mult mai robustă, pot satisface la un număr mare de manevrări şi asigură un serviciu cu mult mai bun decît comutatoarele cu ploturi. Datorită acestor calităţi, deşi preţul lor de cost este mai mare, comutatoarele de tip controler îşi găsesc utilizări din ce în ce mai variate şi multiple la aparatele industriale.

Pentru toate cazurile în care este necesară o inversare de sens a rotaţiei motorului se întrebuinţează aproape exclusiv controlerele, care sînt comutatoare de acest tip, lucrînd, în general, cu rezistenţe separate în aer (echipamentele pentru tracţiune electrică, macarale, maşini de extracţie, foraj etc.).

Acest tip de comutatoare se întrebuinţează din ce în ce mai mult şi pentru alte aparate de manevră a motoarelor, cum sînt: demaroarele stea-triunghi, autotransformatoare de pornire, comutatoare inversoare de sens etc.

Comutatorul de tip controler format tobă se compune dintr-o serie de segmenţi circulari metalici, de obicei de cupru, dispuşi pe un cilindru care se roteşte în jurul axei sale prin intermediul unui dispozitiv de comandă. În fig. 84 este reprezentat un comutator de acest tip fabricat de uzinele HEMZ din U.R.S.S.

Segmenţii metalici sînt conectaţi electric într-una sau mai multe grupe, după necesităţi.

În dreptul segmenţilor se găsesc o serie de perii fixe de tip cu deget, care sînt montate pe una sau mai multe axe izolate.

Prin învîrtirea cilindrului, anumiţi segmenţi vor face contact cu anumite perii la fiecare din poziţiile de oprire ale cilindrului, care se mai denumeşte şi rotorul controlerului, realizînd conexiunile cerute. Astfel, la reostatele de pornire, treptele de rezistenţă se leagă la perii şi prin învîrtirea rotorului segmenţii scurtcircuitează în mod convenabil şi progresiv treptele. În cazul controlerelor cu inversare de sens înafara rotorului pentru comutaţia treptelor de rezistenţă, se prevede un al doilea cilindru, care schimbă legăturile astfel, încît motorul să poată funcţiona în ambele sensuri de rotaţie. Acest cilindru poate fi separat, formînd al doilea rotor, sau pentru agregatele mici poate fi montat pe acelaşi ax cu primul cilindru, formînd un singur rotor. Manevrarea axului rotorului *7* se face, de obicei, cu o roată de manevră *4* sau cu manivelă, iar oprirea rotorului pe poziţiile respective se obţine cu ajutorul unei roţi de piedică cu dinţi *5* şi unei piedici formată dintr-o pîrghie cu o rolă *6* care intră în îmbucăturile dinţilor, prin acţiunea unui arc (fig. 84).

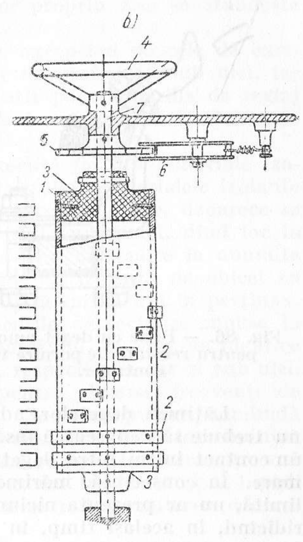


Fig. 84. — Comutator tip controler format tobă.

Segmenţii de contact *2* trebuie să fie izolaţi de ax. Pentru reostatele de pornire de tip industrial nereversibile, fabrica HEMZ din U.R.S.S. construieşte cilindrul din ţeavă de fier *1*, izolat de ax prin două manşoane de lemn *3* la cele două capete ale cilindrului. Segmenţii sînt de cupru şi sînt fixaţi pe ţeava de fier, care formează şi legătura electrică între aceştia.

În afară de acest sistem, pentru fixarea segmenţilor de cupru se întrebuinţează şi blocuri susţinătoare de fontă, fixate pe axe de fier izolate, de formă exagonală sau pătrată (fig. 85). În ambele cazuri, segmenţii se fixează cu ajutorul unor şuruburi cu cap îngropat. Este foarte important ca poziţia unghiulară a şuruburilor să fie astfel aleasă, încît pe poziţiile de oprire ale rotorului periile să nu calce pe capetele şuruburilor.

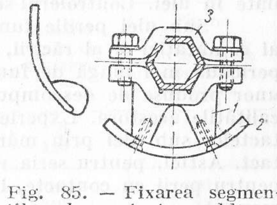


Fig. 85. — Fixarea segmenţilor de contact pe blocuri de fontă.

Periile sînt de tipul cu degete, forţa de apăsare fiind asigurată de un arc elicoidal, iar legătura electrică între deget şi şurubul de prindere al conexiunii exterioare este formată din lamele subţiri de cupru (0,1—0,15 mm grosime). Pentru reostate de pornire în ulei, fără inversare de sens, fabrica HEMZ întrebuinţează dispozitivul din fig. 86, cu deget amovibil masiv şi arc elicoidal fără posibilităţi de reglaj. Pentru controlere se întrebuinţează de preferinţă dispozitivul din fig. 87, care este similară dispoziţiei de mai sus, dar are posibilităţi de reglaj, atît pentru dispoziţia degetului, cît şi pentru presiunea arcului.

În adevăr, la aceste aparate numărul de manevrări fiind foarte mare (60—240 pe oră), şi uzajul contactelor este mare, astfel încît este absolut necesar

să se prevadă posibilități de reglaj în urma ajustării pieselor uzate. În ce privește încărcarea periilor și a segmenților, se vor lua pentru funcționare în regim permanent în aer 5—7,5 A/mm de contact liniar și ca presiune de contact 1,5—2,5 kg/cm liniar. Pentru funcționare în regim intermitent și manevrări puțin frecvente, se pot lua valori cu circa 30 % mai mari.

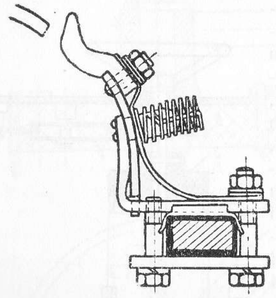


Fig. 86. — Perie cu deget amovibil pentru reostate de pornire tip controler.

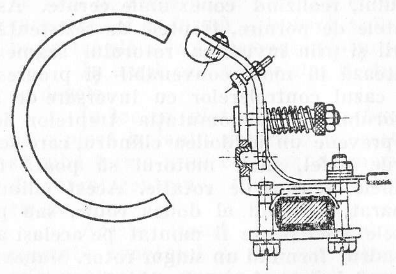


Fig. 87. — Perie cu deget amovibil și arc reglabil pentru controlere.

Lățimea degetelor, adică lungimea liniei de contact între deget și segment, nu trebuie să depășească însă 20 mm, deoarece nu se poate asigura în mod practic un contact intim între deget și segmentul respectiv pe o linie de o lungime mai mare. În consecință, mărimea dimensiunii periei, în sensul lățimii, peste această limită, nu ar prezenta niciun avantaj sau ar putea chiar avea un efect dăunător, ridicînd, în același timp, în mod inutil prețul aparatului. În cazul intensităților necesitînd o linie de contact mai mare de 20 mm, se vor prefera două sau mai multe perii în paralel.

Reostatele de pornire sub ulei de tip controler sînt construite astfel ca atît rezistențele, cît și comutatorul (controlerul) împreună cu periile, să fie cufundate în ulei. Controlerul se construiește cu axul vertical sau orizontal.

Sub ulei periile funcționează mai bine decît în aer, din punct de vedere al comutației și al răcirii, dar contactul electric este mai puțin bun după o perioadă mai lungă de funcționare. Formarea arcului electric repetat dă naștere unor produse de descompunere a uleiului care se depun pe contacte și reduc calitățile acestora. Experiențele făcute în U.R.S.S. au dus la îmbunătățirea contactelor sub ulei prin mărirea forței de apăsare a periilor pe suprafața de contact. Astfel, pentru seria unională de reostate de pornire se iau următoarele date pentru perii cu contacte, liniforme de tip deget pentru funcționare în regim permanent:

Densitatea de curent	*Presiunea pe linia de contact*
20—25 A/mm de linie de contact.	3,5 — 4 kg/cm linie de contact.

Presiunea mărită între contacte se poate admite, în acest caz, deoarece uzajul mecanic este redus datorită faptului că periile sînt permanent unse de ulei iar efortul necesar pentru manevrare rămîne din aceeași cauză în limite admisibile.

În general, practica sovietică recomandă a se lua pentru densitățile de curent ale contactelor sub ulei valori de 3—4 ori mai mari ca densitățile de curent pe aceleași contacte în aer, cu o mărire de circa 80 % a forței de apăsare indicată pentru contactele în aer.

Pentru reostatele de pornire și controlerele sub ulei se întrebuințează ulei de transformator cu o umiditate normală, fără a se lua precauțiuni speciale de uscare, ca în cazul transformatoarelor.

Normele sovietice stabilesc ca temperatura uleiului în părțile cele mai calde ale reostatelor să fie de maximum 80°C la o temperatură a mediului înconjurător de 35°C, iar pentru temperatura contactelor propriu zise se stabilește la maximum 120 . . . 125°C.

Controlerele pentru reglajul vitezei motoarelor, exceptînd pe cele de excitație a motoarelor de curent continuu, se construiesc de preferință sub ulei, iar încărcările vor fi luate, cum s-a specificat mai sus, atît pentru periile de reglaj (regim permanent), cît și pentru cele de pornire, dacă este cazul. Rezistențele de reglaj respective sînt de tipul cu răcire în aer.

Tijele port-perii trebuie să fie izolate și se execută fie din materiale izolante, fie din fier profilat (dreptunghiular sau pătrat) izolat. Materialele izolante ca lemnul, textolitul, fibra cu asbest etc. sînt puțin recomandabile, deoarece se deformează foarte ușor la schimbări de temperatură și la umezeală, dînd loc la modificarea poziției periilor, astfel încît pot ajunge să nu mai calce la anumite poziții pe sectoarele respective. Tijele port-perii de fier se izolează de obicei cu hîrtie bachelizată, înfășurată la cald, formînd astfel o tijă îmbrăcată în pertinax.

Distanțele de conturnare între perii, între blocurile de sectoare supuse la tensiuni diferite și, în fine, între acestea și corpul aparatului, se vor lua identice cu acelea specificate la capitolul *Aparate de conectare*, respectiv în aer și sub ulei.

Controlerele format tobă se întrebuințează pentru diverse frecvențe de conectare, pînă la maximum 240 conectări pe oră. Se ia ca putere nominală pentru un controler, puterea pe care acesta o poate manevra, fiind întrebuințat pentru pornire și reglaj la o frecvență de 120 conectări pe oră. La frecvențe mai mari de 120 conectări pe oră, uzura contactelor din cauza frecărilor și a topirii contactelor crește în așa măsură, încît este necesar a se reduce puterea controlerului.

În tabela 27 se dau datele relative la diversele regimuri de funcționare și de frecvențe de conectare.

Tabela 27. Caracteristicile controlerelor format tambur

Regimul de funcționare	Numărul maxim de conexiuni pe oră	Puterea controlerului, în % față de puterea nominală
Normal	30 120	120 110
Pornire și reglaj	120 240	100 80
Greu	240	60

51. Comutatoare tip controler cu came. Pentru aparatele cu un regim de funcționare necesitînd frecvențe mai mari de 240 conectări pe oră nu mai este recomandabilă întrebuințarea comutatoarelor de tip controler în formă de tobă, descrise mai sus, deoarece, pe de o parte, piesele de contact se uzează foarte repede, iar pe de alta, periile, frecînd pe tambur, necesită un oarecare efort din partea operatorului, care la acest număr mare de manevre poate repede obosi

În cazul cînd aparatele au o frecvenţă de conectare mai mare de 240 pe oră, se întrebuinţează comutatoare de tip controler cu came. Acesta se mai întrebuinţează şi pentru aparatele de manevră ale motoarelor mari, chiar la o frecvenţă de conectări mai mică de 240 pe oră. Acest tip de comutator se întrebuinţează numai pentru controlere, fie în aer sau sub ulei şi funcţionînd cu rezistenţe separate în aer, deoarece numai acestea convin la un număr mare de porniri sau la reglaj. Nu este întrebuinţat la reostatele de pornire metalice sub ulei, care au, în general, o frecvenţă de porniri pe oră relativ redusă.

Controlerele cu came au o frecvenţă nominală de 600 conectări pe oră.

Comutatorul de tip controler cu came se deosebeşte de tipurile de comutatoare expuse mai sus, prin însuşi principiul de funcţionare a contactelor.

În acest caz contactele sînt de presiune *rulante*, rostogolindu-se unul peste celălalt, pe cînd contactele celorlalte tipuri de comutatoare sînt de alunecare.

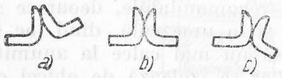


Fig. 88. — Contacte de rostogolire pentru controlere tip cu came.

Principiul de funcţionare este indicat în fig. 88: la conectare contactele se ating în primul moment pe o linie în partea de sus (fig. 88, *a*) apoi, prin deplasarea pîrghiei pe care este montat contactul mobil, acesta se rostogoleşte pe contactul fix (fig. 88, *b*). În fine, în poziţia finală de lucru, atingerea are loc în partea inferioară a contactelor (fig. 88, *c*). La deconectare procesul decurge invers, iar întreruperea se face tot pe linia pe care a avut loc atingerea iniţială.

Acest tip de contacte are următoarele avantaje faţă de contactele de alunecare ale celorlalte tipuri:

1) se reduce uzura mecanică, deoarece nu mai există frecare de alunecare;

2) se asigură un contact electric foarte bun, care are loc pe suprafeţe curate, deoarece linia de atingere pe poziţia de lucru a ambelor contacte este depărtată de locul de formare a arcului, unde se produc perlări, deformări şi arderi ale materialului;

3) forţa de apăsare între contacte poate fi luată mai mare decît la cele de alunecare, deoarece nu dă loc la o uzură mecanică mărită.

Mărirea forţei de apăsare între contacte înlătură în mare măsură uzura electrică a contactelor, datorită vibraţiilor. Anume, vibraţii mici ale aparatului dau loc în momentul închiderii contactelor la arcuri scurte între acestea, care topesc materialul şi au o acţiune de uzură electrică destul de importantă. Vibraţii mai mari pot da loc, pe lîngă acţiunea descrisă mai sus, la o acţiune destructivă mult mai puternică chiar pe poziţia de lucru a contactelor. Reducerea acestei uzuri este condiţionată de mărirea forţei de apăsare pe contacte, care se poate realiza în mod convenabil numai la controlerele cu came.

Se observă că există totuşi alunecări neînsemnate între contacte, de ordinul unor fracţiuni de milimetru, şi care sînt datorite faptului că centrul de rotaţie al contactului mobil nu poate urmări mişcarea de rostogolire a acestuia, din motive constructive. Această alunecare fiind însă foarte mică, nu dă loc la uzură mecanică, în schimb ameliorează calitatea contactului, deoarece contribuie la ştergerea peliculei de oxid care se formează pe contacte.

Densitatea de curent poate fi luată de 5—7,5 A/mm de linie de contact pentru regim permanent, iar pentru funcţionare de scurtă durată, capacitatea de încărcare a contactului creşte cu 20—50 %. Forţa de apăsare pe contacte trebuie să fie de 1,5—2 kg/cm de linie de contact.

În cazul cînd controlerele sînt prevăzute cu dispozitive de suflaj al arcului, acestea se fac deobicei individuale, iar montajul lor trebuie să fie astfel realizat, încît acţiunea de stingere să sufle arcul spre capătul de sus al contactelor (către partea unde are loc întreruperea).

Contactele sînt montate pe pîrghii care sînt acţionate la rîndul lor de came profilate din material izolant, fixate pe axul de comandă.

Acţionarea pîrghiilor se face în general printr-un dispozitiv cu rolă, pentru a se evita frecarea între came şi pîrghie şi uzura acestora.

Sînt trei tipuri de dispoziţii pentru acţionarea pîrghiilor cu came:

1) închiderea contactelor este asigurată de arcuri, iar deschiderea are loc prin acţiunea camelor (fig. 89);

2) închiderea contactelor se efectuează prin acţiunea camelor, iar deschiderea are loc prin acţiunea arcurilor (fig. 90);

3) atît închiderea cît şi deschiderea sînt asigurate prin acţiunea camelor (fig. 91).

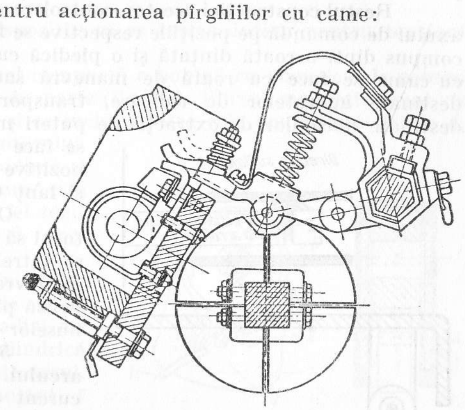


Fig. 89. — Comutator cu închiderea contactelor prin arcuri şi deschiderea prin came.

Fiecare din aceste dispoziţii au avantaje şi lipsuri, care se pot rezuma astfel:

La tipul 1. Deconectarea este asigurată chiar în cazul topirii accidentale a contactelor, deoarece deschiderea este determinată de efortul operatorului.

Conectarea este mai puţin sigură, fiind condiţionată de arcul de acţionare al pîrghiei. Dacă acesta se slăbeşte, se poate ajunge la o forţă insuficientă de apăsare pe contact.

Arcul de acţionare al pîrghiei funcţionează în condiţii nefavorabile, deoarece este destins în poziţia de lucru a contactelor, cînd este nevoie de o forţă de apăsare maximă, iar la deschiderea contactelor este comprimat, ceea ce îngreunează manevrarea. Acest defect se observă mai ales la controlerele de puteri mari şi cu număr mare de contacte acţionate simultan, în care cazuri nu este recomandabilă adoptarea acestui dispozitiv.

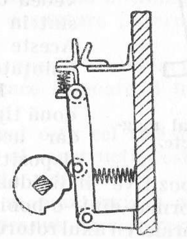


Fig. 90. — Comutator cu închiderea contactelor prin came şi deschiderea prin arcuri.

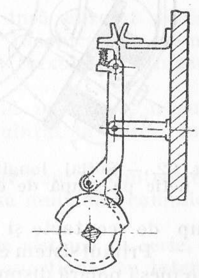


Fig. 91. — Comutator cu închiderea şi deschiderea contactelor prin came.

La tipul 2. Deschiderea contactelor fiind condiţionată numai de arcul de acţionare al pîrghiei, în cazul topirii accidentale a contactelor acestea pot rămîne închise, iar operatorul este lipsit de posibilitatea de a interveni.

Arcul de acţionare a pîrghiei funcţionează în condiţii mai convenabile, deoarece, pe de o parte, începe întreruperea în momentul cînd este comprimat, iar pe alta necesită în general un efort mai mic din partea operatorului.

La tipul 3. Această dispoziţie combină calităţile celor două dispozitive precedente, dar cum pentru fiecare contact sînt necesare două came, gabaritul aparatului se măreşte. În plus, se observă că trebuie să existe o corespondenţă bine determinată între acţiunile celor două came, ceea ce necesită o construcţie de pre-

cizie, care împreună cu dublarea numărului de came şi mărirea gabaritului duc la o apreciabilă creştere a preţului de cost.

Acest dispozitiv este adoptat atunci cînd este necesară o funcţionare perfect sigură şi un efort mic din partea operatorului.

Restul construcţiei acestor controlere este similară celor format tobă. Oprirea axului de comandă pe poziţiile respective se face tot printr-un dispozitiv de piedică, compus dintr-o roată dinţată şi o piedică cu rolă. Manevrarea axului de comandă cu came se face cu roată de manevră sau cu manivelă, pentru echipamentele destinate aparatelor de ridicare, transport şi tracţiune. Pentru echipamentele destinate maşinilor de extracţie de puteri mari, în mine, petrol etc., manevrarea se face în general de la distanţă, prin dispozitive mecanice, ca de exemplu roţi dinţate şi lanţ Gall.

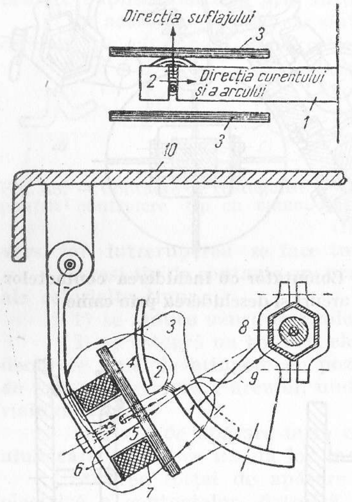


Fig. 92. — Suflaj longitudinal magnetic pe grupă de contacte.

Ori de cîte ori este necesar ca operatorul să aibă mîinile libere pentru alte manevre, se întrebuinţează controlere de tipul cu came, manevrarea făcîndu-se prin pedală, care acţionează pinioane şi sectoare dinţate (cazul troleibuselor etc.).

52. **Dispozitive de suflaj magnetic al arcului.** La aparatele de manevră pentru curent continuu, în momentul întreruperii, au loc între contacte arcuri electrice de oarecare durată şi care au o acţiune destructivă asupra acestora.

Pentru a micşora această acţiune de topire a contactelor, se obişnuieşte a se prevedea dispozitive de stingere ale arcului, care sînt în general realizate prin suflaj magnetic. Aceste dispozitive sînt similare celor întrebuinţate pentru întrerupătoare în aer.

Din punct de vedere constructiv, există două tipuri de suflaj bazate pe acelaşi principiu, dar acţionînd în mod diferit. Astfel, există dispozitive de suflaj acţionînd asupra unui grup de contacte şi dispozitive individuale acţionînd asupra fiecărui contact.

Primul sistem este format dintr-o bobină care produce cîmpul magnetic şi dintr-o piesă polară dispusă paralel cu axul rotorului, cuprinzînd toate degetele de contact din grupa asupra căruia acţionează (fig. 92). Fluxul magnetic creat de bobină trece radial către axul rotorului, închizîndu-se prin carcasa controlerului. Arcul care se formează la întreruperea contactului între deget şi segment se găseşte sub influenţa acestui flux radial şi, în consecinţă, este deplasat pe o direcţie paralelă cu axul rotorului. Suflajul realizat prin acest dispozitiv este eficace, dar există posibilitatea ca arcul format să treacă prin suflaj şi apoi să se menţină între două perii apropiate, dacă tensiunea între acestea este suficient de mare. Pentru a preîntîmpina acest inconvenient, se aşează paravane izolante între perii, rezistente la acţiunea arcului şi fabricate în general din azbociment. Arcul, ajungînd la paravan, se răceşte şi se stinge repede, producîndu-se în momentul răcirii şi o deionizare. Deoarece paravanele trebuie să fie destul de mari pentru a împiedica o conturnare, sînt indicate la comutatoarele corespunzătoare portsegmenţii turnaţi, care permit introducerea paravanelor între segmenţi. Portsegmenţii tubulari nu sînt recomandabili.

Ca măsură suplimentară, trebuie ca periile de polarităţi diferite să nu fie aşezate în apropiere una de alta.

Întregul dispozitiv cu paravane izolante trebuie să se poată roti înspre exterior, în vederea posibilităţii verificării şi întreţinerii contactelor. În consecinţă, bobina sau bobinele, dacă sînt mai multe grupe, trebuie să fie conectate cu conductoare flexibile, ceea ce dă loc la inconveniente constructive în cazul intensităţilor mari.

Este recomandabil ca acest dispozitiv să se întrebuinţeze pentru tensiuni pînă la 250 V.

Dispozitivul de suflaj individual comportă o bobină cu anexele sale pentru fiecare contact (perie *2* şi segment *1*) în parte (fig. 93). Fluxul magnetic creat de bobină *6* trece prin miezul acesteia *5* şi se închide între cele două piese polare *4*, avînd o direcţie paralelă cu axul rotorului. Acţiunea de suflaj are o direcţie radială şi arcul este îndreptat către bobină, care este protejată de un bandaj de cupru, astfel încît arcul se întinde pe acest bandaj şi apoi se stinge.

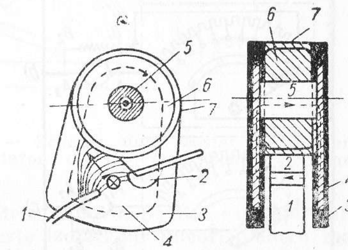


Fig. 93. — Sistem individual de stingere a arcului prin suflaj magnetic radial

Pericolele de amorsare a arcului între două perii adiacente este înlăturat de acest dispozitiv, deoarece arcul este suflat radial iar camera de stingere comportă o piesă cilindrică de metal *7* în jurul bobinei care răceşte arcul. Piesele polare sînt învelite cu un izolant *3* necombustibil. Camera de stingere poate fi mărită după necesităţi.

Fluxul magnetic în acest sistem poate fi mult mai mic decît în cazul precedent, deoarece este foarte concentrat prin piesele polare. Este însă absolut necesar ca portsegmenţii să fie executaţi dintr-un metal antimagnetic (deobicei din alamă), întrucît, în caz contrar, s-ar produce o şuntare puternică a fluxului şi stingerea arcului ar deveni nesigură.

Sistemul individual este mult superior celui acţionînd pe grupe, întrucît asigură o stingere a arcului foarte eficace şi poate fi întrebuinţat la puteri mari şi tensiuni ridicate.

De asemenea, sistemul individual este cel mai indicat pentru controlerele de tipul cu came. Din punct de vedere al construcţiei este însă mult mai complicat şi preţul său de cost este în consecinţă ridicat.

Bobinele de stingere a arcului se montează la ambele sisteme în serie, pe circuitul principal, astfel încît fluxul produs de ele creşte proporţional cu intensitatea curentului şi deci acţiunea de stingere este cu atît mai puternică, cu cît curentul este mai mare.

H. Scheme de montaj şi conexiuni specifice aparatelor de pornire şi reglaj

53. **Reostate metalice de pornire şi reglaj pentru motoare de curent continuu.** Montajele aparatelor de pornire şi reglaj sînt multiple şi foarte variate. Se vor indica în cele ce urmează o serie de montaje specifice generale pentru aparatele de uz curent, din care derivă de fapt şi schemele pentru aparatele speciale.

α) *Reostate de pornire.* In general este necesar ca în perioada de pornire a unui motor să se obţină *un cuplu maxim* pentru a reduce pe cît posibil această perioadă. La motoarele de curent continuu cuplul este cu atît mai mare, cu cît fluxul magnetic este mai mare şi cu cît intensitatea curentului în indus este mai mare.

Trebuie observat însă că, pe cînd creșterea curentului în indus atrage după sine o absorbție apreciabilă de curent de la rețea, creșterea fluxului magnetic în cazul motoarelor cu excitație derivație și compund nu necesită decît un supliment de curent de valoare redusă, absorbit de la rețea. În consecință, în cazul motoarelor cu excitație derivație sau compund este necesar ca la pornire înfășurarea de excitație să fie conectată la tensiunea totală a rețelei, pentru a obține maximum de flux și deci maximum de cuplu, la o anumită valoare a intensității curentului în indus.

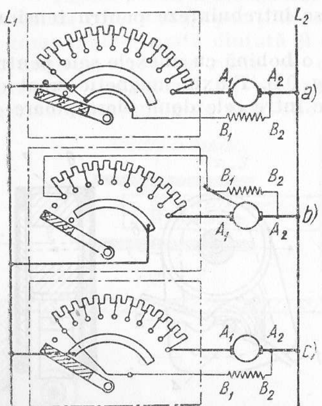


Fig. 94. — Schema de reostate de pornire cu comutatoare de tip plan pentru motoare de curent continuu derivație:

a — tensiunea de excitație este în permanență identică cu tensiunea rețelei; *b* — tensiunea de excitație normală în primul moment al pornirii, scade pe măsura reducerii reostatului de pornire; *c* — tensiunea de excitație normală în primul moment al pornirii scade pe măsura reducerii reostatului de pornire și revenire normală pe plotul de funcționare.

În schemele de montaj ale reostatelor de pornire pentru acest tip de motoare trebuie să se realizeze în total, sau cel puțin parțial, această condiție.

În fig. 94 sînt reprezentate schemele de montaj a trei reostate de pornire de tip plan cu ploturi. În montajul din fig. 94, *a* înfășurarea de excitație derivație se găsește conectată la tensiunea rețelei în tot timpul pornirii, ca și în poziția de mers normal. Condiția de mai sus este total realizată, dar reostatul este complicat, avînd un segment și o perie suplimentară speciale pentru excitație, astfel încît costul său este ridicat.

În montajul din fig. 94, *b* condiția de a avea excitația maximă este realizată numai pe primul plot de pornire pe care înfășurarea de excitație este conectată la tensiunea rețelei. Pe ploturile următoare înfășurarea de excitație se găsește conectată în serie cu porțiunea din rezistența de pornire, care a fost scoasă din circuitul indusului motorului. Fluxul polilor de excitație scade pe măsura pornirii motorului, valoarea sa fiind minimă pe poziția de mers normal.

Trebuie observat că această scădere de flux este relativ mică, deoarece rezistența totală a reostatului de pornire este mică în raport cu rezistența înfășurării de excitație derivație.

În concluzie, acest montaj asigură un cuplu maxim în momentul pornirii motorului din repaus, iar funcționarea în mers normal are loc cu un cuplu puțin redus. Construcția reostatului este, în acest caz, mult mai simplă și deci și prețul de cost este redus.

În montajul din fig. 94,*c* înfășurarea de excitație este conectată la tensiunea rețelei pe primul plot de pornire și pe plotul de mers normal (ultimul), deci atît fluxul polilor de excitație cît și cuplul sînt maxime pe aceste poziții. Pe ploturile intermediare funcționarea este identică cu cea din fig. 94,*b*, fluxul micșorîndu-se pe măsura scoaterii treptelor de rezistență din circuitul indusului pînă la ultimul plot, cînd fluxul devine din nou maxim, așa cum s-a explicat mai sus.

Construcția reostatului în cazul fig. 92,*c* este puțin mai simplă decît cea din primul caz, prin aceea că un segment a fost înlocuit cu un plot, dar peria a rămas tot complicată, trebuind să calce pe trei puncte deodată (în poziția de mers normal).

Pentru reostatele de pornire ale motoarelor de curent continuu se obișnuește, în general, a se adopta un tip de construcție și o schemă de montaj, astfel ca motorul să poată fi pornit și oprit prin intermediul reostatului, întreruptorul respectiv rămînînd în permanență închis. Această dispoziție este figurată atît în schemele

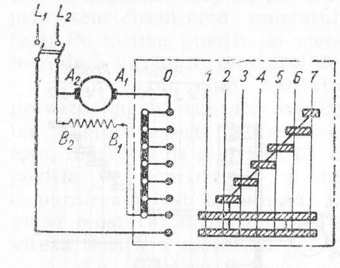


Fig. 95. — Schema unui reostat de pornire tip controler pentru motoare derivație sau compound.

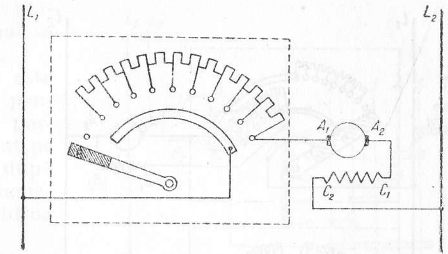


Fig. 96. — Schema unui reostat de pornire cu comutator de tip plan pentru motoare serie.

precedente cît și în schemele următoare, reostatele avînd o poziție « 0 », pe care curentul în motor este întrerupt. Primul plot este izolat, iar uneori, pentru mai multă siguranță, se lasă primele două ploturi izolate, cum este arătat în fig. 94. Aceeași dispoziție se va găsi și în schemele reostatelor de tip controler.

În fig. 95 este reprezentată schema de montaj a unui reostat de pornire tip controler, cu șapte poziții și cu rezistența în șase trepte. Pe poziția *1* a reostatului, motorul este conectat la rețea cu toată rezistența în serie, iar în pozițiile de la *2* la 7 treptele de rezistență sînt scurtcircuitate în mod progresiv.

În figură se vede desfășurarea controlerului formată din segmenții rotorului și linia periilor fixe, la care sînt conectate punctele de separație ale treptelor rezistenței. Pe liniile marcate *1—7* se opresc periile atunci cînd reostatul este manevrat pe pozițiile respective, aceste linii indicînd pe ce segmenți calcă periile în fiecare poziție.

Reostatul din fig. 95 are doi segmenți lungi făcînd contact cu periile în pozițiile *1—7*, primul de jos fiind pentru conectarea unuia din conductorii rețelei la întreg ansamblu reostat-motor, iar al doilea pentru a menține excitația motorului permanent conectată la tensiunea rețelei în perioada de pornire.

Această schemă este similară celei din fig. 94,*a*.

În fig. 96 este reprezentată schema de montaj a unui reostat de pornire pentru un motor de curent continuu cu excitație serie.

Acest reostat este foarte simplu avînd numai două borne pentru conexiunile la unul din conductorii rețelei, și la motor.

Dat fiind că motoarele cu excitație serie se întrebuințează în special la tracțiune electrică, pentru pornirea acestora se întrebuințează deobicei controlere cu rezistențe separate, schemele acestora fiind detaliate la capitolul respectiv.

β) *Reostatele de pornire și reglaj.* 1. Reostatele de pornire și reglaj prin curent principal au același tip de scheme de montaj și numai dimensionarea comutatorului și în special a rezistenței sînt diferite de cele de pornire propriu zise. De asemenea, construcția rezistenței poate fi și ea diferită, deoarece pentru pornire se întrebuințează rezistențe în aer sau în ulei, pe cînd pentru reglaj se întrebuințează numai rezistențe în aer.

2. Reostatele de pornire și de reglaj prin excitație, pentru motoarele cu excitație derivație, au însă schemele lor specifice. Un număr de ploturi este rezervat

pentru pornire și se conectează la treptele unei rezistențe de pornire, legată în serie cu indusul motorului. O a doua serie de ploturi este conectată la treptele unei rezistențe de reglaj legată în serie cu înfășurarea de excitație a motorului.

În fig. 97 sînt reprezentate schemele de montaj ale unor reostate de pornire și reglaj prin excitație de tipul cu ploturi. Ambele scheme sînt similare, avînd

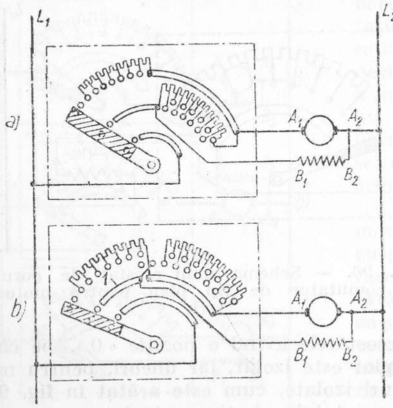


Fig. 97. — Schema de reostate de pornire și reglaj prin excitație de tip plan pentru motoare derivație:
a — așezare interioară a ploturilor de reglaj;
b — așezare exterioară a ploturilor de reglaj.

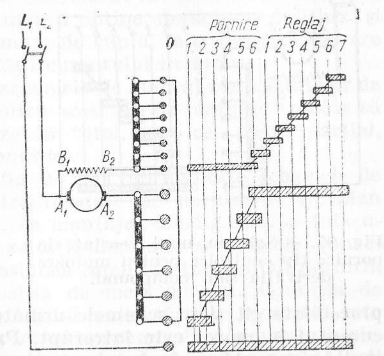


Fig. 98. — Schema unui reostat de pornire și reglaj prin excitație de tip controler pentru motor derivație.

rezistența de pornire cu șapte trepte conectată la ploturile adiacente poziției « 0 ». Cînd maneta este manevrată din această poziție, în vederea pornirii motorului, treptele sînt scurtcircuitate progresiv, pînă cînd toată rezistența de pornire este scoasă din circuitul indusului. În tot timpul acesta înfășurarea de excitație este conectată direct la tensiunea rețelei, prin intermediul unui segment special *1*. Motorul odată pornit, dacă se continuă mișcarea manetei spre dreapta, se introduce în circuitul de excitație rezistența de reglaj conectată pe a doua serie de ploturi. Schema din fig. 97,*a* reprezintă dispoziția în care ploturile de reglaj sînt așezate în interiorul segmentului conectat la motor, pe cînd în construcția reprezentată în schema din fig. 97,*b*, ploturile de reglaj sînt așezate în exteriorul acestui segment.

Prima dispoziție este mai simplă, pe cînd a doua este mai complicată, avînd o serie de conexiuni încrucișate. Ea oferă însă posibilitatea de a monta un număr mai mare de trepte de reglaj, în același gabarit, ca prima dispoziție.

În fig. 98 este reprezentată schema de montaj a unui reostat de pornire și reglaj prin excitație, de tip controler. Reostatul are șase poziții pentru pornire și o rezistență corespunzătoare cu cinci trepte. În tot timpul pornirii, excitația este alimentată la tensiunea maximă a rețelei. Pe poziția *6*, rezistența de pornire este complet scurtcircuitată. Urmează apoi reglajul vitezei prin excitație prin intermediul unei rezistențe de reglaj divizată în șapte trepte, care este introdusă în circuitul de excitație al motorului prin cele șapte poziții de reglaj ale controlerului, corespunzînd indicației « reglaj ».

Se observă că la acest tip de reostate nu se poate mări prea mult numărul treptelor de reglaj, deoarece și numărul periilor ar crește în mod exagerat, iar dimensiunile aparatului și prețul acestuia ar deveni prea mari.

Pentru a se evita aceasta, se întrebuințează dispoziția din fig. 99, în cazul cînd este nevoie de un reglaj fin. Aceasta comportă un reostat de pornire de tip controler separat și un reostat de excitație, deasemenea separat, dar de tip normal cu ploturi și care este conectat în circuitul excitației motorului. Reostatul de pornire are un segment special, pentru a asigura în tot timpul pornirii excitația maximă prin scurtcircuitarea reostatului cu ploturi. Pe ultima poziție de mers normal se introduce în circuit reostatul de reglaj.

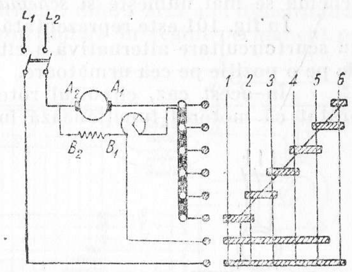


Fig. 99. — Schema unui reostat de pornire de tip controler cu reglaj de viteză, prin reostat separat de excitație pentru motor derivație.

În cazul cînd reostatul nu este prevăzut cu un contact suplimentar pentru excitație, este necesar ca, la pornire, reostatul de reglaj să fie manevrat pe poziția de scurtcircuit și numai după ce pornirea a fost terminată, să se manevreze reostatul de reglaj, pentru a obține viteza dorită a motorului.

La alegerea vitezei de rotație a unui motor de curent continuu cu excitație derivație sau compund, care urmează a funcționa la viteză variabilă, trebuie avut în vedere că, în cazul unui reglaj prin curent principal (reostatul de reglaj în serie cu indusul motorului), viteza scade pe măsura introducerii treptelor de rezistență în circuit, pe cînd în cazul reglajului prin excitație, viteza motorului crește pe măsura introducerii treptelor de rezistență în circuitul excitației.

În consecință, în primul caz (reglaj prin curent principal), motorul trebuie ales cu o viteză de rotație normală, care să fie puțin mai mare sau egală cu viteza maximă necesară, iar în cazul al doilea (reglaj prin excitație), viteza de rotație normală a motorului trebuie să fie puțin mai mică sau egală cu viteza minimă care trebuie realizată prin reglaj.

Bineînțeles că în acest din urmă caz motorul trebuie să fie astfel dimensionat din punct de vedere mecanic, încît să poată suporta viteza maximă, iar dimensionarea sa din punct de vedere electric trebuie să-i permită funcționarea în sarcina respectivă la viteza maximă.

Pentru motoarele de curent continuu cu excitație în serie, se întrebuințează atît reglajul prin curent principal cît și prin șuntarea polilor inductori.

54. **Reostate de pornire și reglaj pentru motoare asincrone trifazate cu rotorul bobinat.** α) *Reostate de pornire.* După cum s-a arătat mai înainte, motoarele asincrone trifazate cu rotorul bobinat (numite și cu inele) se pornesc prin reostate conectate în circuitul rotorului. Rezistența propriu zisă a reostatului are trei faze, care se conectează deobicei în stea, rezistența fiecărei faze fiind împărțită într-un număr oarecare de trepte.

În cazul acestor motoare, reostatul de pornire trebuie să fie în permanență conectat în circuitul rotorului, deoarece prin deconectarea statorului la oprire s-ar crea tensiuni periculoase în rotor, dacă acesta nu ar fi închis pe rezistențe, și s-ar putea ca motorul să se defecteze. În consecință, motorul se pornește și se oprește prin intermediul întreruptorului conectat pentru alimentarea statorului de la rețeaua respectivă. Schemele specifice de montaj ale acestor reostate se găsesc în fig. 100—103.

În fig. 100 este reprezentată schema de montaj a unui reostat de pornire de tipul cu ploturi, cu scurtcircuitarea simultană a treptelor de rezistență pe toate trei fazele.

Această schemă asigură o funcţionare echilibrată a rotorului pe fiecare din poziţiile reostatului, dar necesită un număr mare de ploturi, ceea ce face ca atît gabaritul cît şi costul aparatajului să fie oarecum mari. Are avantajul de a permite o izolare convenabilă, deoarece tensiunile între ploturile aferente unei faze sînt reduse, iar cele trei grupuri de ploturi se pot uşor izola unul de celălalt. Această schemă se mai numeşte şi *schemă simetrică.*

În fig. 101 este reprezentată schema unui reostat de pornire de tip cu ploturi cu scurtcircuitare alternativă a cîte unei trepte pe cîte o fază, la trecerea manetei de pe o poziţie pe cea următoare.

În acest caz, circuitul rotorului nu mai este echilibrat, dar experienţa a arătat că motorul funcţionează în condiţii convenabile şi în această situaţie.

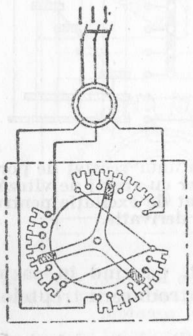


Fig. 100.— Schema simetrică a unui reostat de pornire trifazat de tip plan cu ploturi.

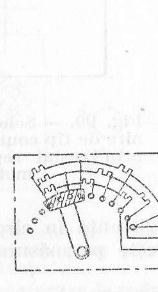


Fig. 101.—Schema nesimetrică a unui reostat de pornire trifazat de tip plan cu ploturi.

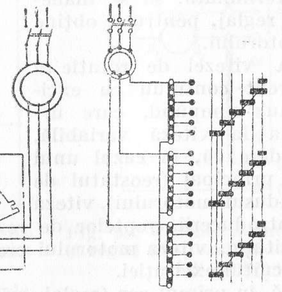


Fig. 102. — Schema simetrică a unui reostat de pornire trifazat de tip controler.

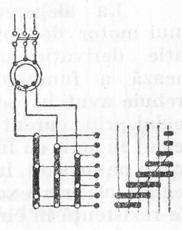


Fig. 103. — Schema nesimetrică a unui reostat de pornire trifazat de tip controler.

Numărul de ploturi se reduce aici simţitor, deşi în acest caz este necesar ca reostatul să aibă un număr mai mare de poziţii pentru o putere dată, decît în cazul reostatelor cu scurtcircuitarea simultană (fig. 100). În consecinţă, gabaritul reostatului se reduce, dar se ivesc în schimb două desavantaje şi anume:

a) izolarea ploturilor este mai dificilă, deoarece între ploturile adiacente sînt tensiuni apreciabile, aceste ploturi fiind conectate la faze diferite;

b) construcţia braţului port-perii trebuie să fie mai robustă, deoarece forţa de apăsare a periilor dă o reacţiune în capătul acestui braţ, care nu se echilibrează ca în cazul precedent (fig. 100).

Această schemă se mai numeşte şi *schemă nesimetrică,* deoarece scurtcircuitarea treptelor are loc alternat ivpe cele trei faze *U*; *V*; *W*. Această schemă se întrebuinţează mai rar la reostatele de tip cu ploturi care se construiesc în mod curent, conform schemei simetrice din fig. 100.

În fig. 102 este reprezentată schema unui reostat de tip controler cu scurtcircuitare simultană a treptelor de rezistenţă pe cele trei faze (schema simetrică). Această schemă este similară celei din fig. 100 şi asigură o funcţionare echilibrată a rotorului pe toate poziţiile reostatului.

Numărul periilor este însă aici foarte mare şi gabaritul aparatului devine apreciabil, iar costul său este ridicat. Aceste desavantaje fac ca, în general, această schemă să fie foarte rar întrebuinţată pentru reostate de tip controler.

Pentru reostatele de tip controler se întrebuinţează de preferinţă schema nesimetrică, reprezentată în fig. 103. Aceasta este similară schemei pentru reostate

de tipul cu ploturi din fig. 101, cu singura deosebire că, în acest caz, se obişnueşte ca pe ultima poziţie *6* să se scurtcircuiteze simultan ultima treaptă a rezistenţelor a două faze. Numărul de perii este redus în mod apreciabil, ca şi gabaritul aparatului.

β) *Reostate de reglaj.* Reostatele de reglaj pentru motoarele asincrone trifazate cu inele sînt identice cu cele de pornire, din punct de vedere al schemelor de montaj. Ca şi în cazul motoarelor de curent continuu, diferă însă aici dimensionarea comutatoarelor, care trebuie să asigure o funcţionare în regim permanent pe toate poziţiile reostatului; totodată, rezistenţele se construiesc cu răcire în aer. Treptele rezistenţei trebuie de asemenea calculate astfel, încît să se dea pe fiecare poziţie viteza de rotaţie dorită a motorului.

În acest calcul trebuie ţinut cont de caracteristicile cuplului, constant sau variabil.

În cazul reostatelor de reglaj de tip controler se întrebuinţează uneori o schemă de montaj mixtă, care pe unele poziţii scurtcircuitează simultan treptele rezistenţelor pe toate fazele, iar pe alte poziţii treptele sînt scurtcircuitate alternativ, cîte una pe o fază (schema nesimetrică). O astfel de schemă este reprezentată în fig. 104.

În fig. 104, *a* este reprezentată schema de principiu a funcţionării unui agregat de pornire şi de reglaj cu controler, cu inversarea sensului de rotaţie al motorului şi rezistenţă separată. Pe poziţia *1*, statorul este conectat la reţea printr-un dispozitiv cu came, iar în circuitul rotorului se găsesc conectate rezistenţele totale ale celor trei faze. Pe poziţiile *2*, *3* şi *10* treptele respective ale rezistenţelor sînt scurtcircuitate simultan, pe cînd pe poziţiile *4—9* se scurtcircuitează alternativ cîte o treaptă pe cîte o fază (schema nesimetrică).

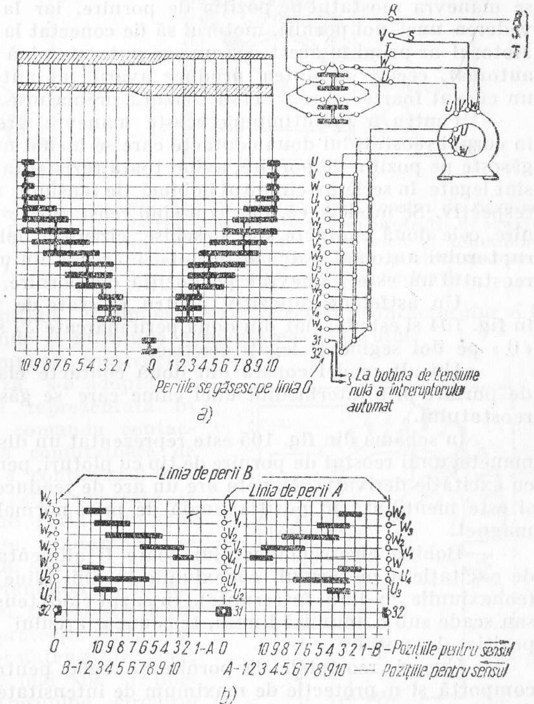


Fig. 104. — Schema unui agregat de pornire şi reglaj cu controler cu inversarea sensului de rotaţie al motorului şi rezistenţă separată:

a — schema de principiu; *b* — diagrama desfăşurată a controlerului cu periile pe două linii.

Pentru a reduce gabaritul aparatului, se obişnueşte a se dispune periile pe două linii convenabil decalate, astfel ca segmenţii rotorului, după ce au scurtcircuitat o serie de perii care se găsesc pe prima linie, să scurtcircuiteze o a doua serie de perii de pe linia doua. Diagrama desfăşurată a unui astfel de controler este reprezentată în fig. 104, *b*.

Şi în cazul echipamentelor pentru maşini de ridicat (poduri rulante, macarale etc.) se întrebuinţează scheme mixte, care, în general, pe primele poziţii, scurt-

circuitează treptele alternativ (schema nesimetrică), iar pe ultimele poziţii scurtcircuitează treptele simultan pe cele trei faze.

55. Dispozitive de protecţie anexe reostatelor. Reostatele de pornire şi reglaj trebuie să comporte dispozitive anexe, care să protejeze motorul în caz de manevră greşită sau de oprire şi revenire a curentului de la reţea. Dacă un motor a fost oprit în mod voit sau accidental prin întreruperea curentului de la reţea (deschiderea întreruptorului automat respectiv), există pericolul ca să se uite a se manevra reostatul pe poziţia de pornire, iar la închiderea întreruptorului, în vederea unei noi porniri, motorul să fie conectat la reţea cu rotorul în scurtcircuit. Motorul ar primi în acest caz un şoc puternic pînă la funcţionarea întreruptorului automat, ceeace ar putea produce avarii, iar automatul ar trebui să întrerupă un curent foarte mare, riscînd o uzură prematură a contactelor.

Pentru a preîntîmpina aceste manevre greşite, se obişnueşte a se monta în corpul reostatului două contacte care se închid numai atunci cînd reostatul se găseşte pe poziţia de pornire, avînd toată rezistenţa în circuit. Aceste două contacte sînt legate în serie în circuitul bobinei de tensiune nulă al întreruptorului automat respectiv. Se înţelege că, în cazul cînd reostatul se nu găseşte pe poziţia de pornire, cele două contacte sînt deschise, circuitul bobinei de tensiune nulă al întreruptorului automat este întrerupt şi acesta din urmă nu poate fi închis pînă ce reostatul nu este manevrat pe poziţia de pornire.

Un astfel de dipozitiv pentru reostate de tip controler, este reprezentat în fig. 104 şi este format din două perii marcate *31* şi *32*, care calcă numai în poziţia « 0 » pe doi segmenţi legaţi electric.

Un alt model constă din două contacte elastice, care se închid pe poziţia de pornire prin intermediul unei came care se găseşte montată pe axul mobil al reostatului.

În schema din fig. 105 este reprezentat un dispozitiv de revenire automată a manetei unui reostat de pornire de tip cu ploturi, pentru motoare de curent continuu cu excitaţie derivaţie. Maneta are un arc de readucere în poziţia iniţială de pornire şi este menţinută în poziţia finală de mers normal prin intermediul unui electromagnet.

Bobina electromagnetului poate fi alimentată, fie în serie cu înfăşurarea de excitaţie a motorului (conexiunile în linii pline), fie direct la tensiunea reţelei (conexiunile în linii întrerupte). În cazul cînd tensiunea reţelei este întreruptă sau scade sub o anumită limită, tensiunea arcului readuce automat maneta pe poziţia de pornire.

Uneori, reostatele de pornire şi reglaj pentru motoare de curent continuu comportă şi o protecţie de maximum de intensitate prin relee. Schema unui astfel de reostat cu protecţie de minimum şi maximum este reprezentată în fig. 106.

Reostatul comportă două contacte B_1 şi B_2, acţionate de manetă, un contactor electromagnetic *KI*, o rezistenţă R_e, un releu de maximum *RM* şi un buton de oprire « *O* ». Contactul B_1 este întrerupt pe poziţia iniţială de pornire şi este închis pe toate celelalte poziţii, iar B_2 este închis numai pe poziţia imediat următoare celei iniţiale. În momentul cînd maneta este manevrată de pe poziţia iniţială pe poziţia următoare, contactele B_1 şi B_2 se închid, bobina contactorului *KI* este alimentată prin intermediul acestora la tensiunea reţelei, contactorul funcţionează şi alimentează motorul care porneşte. Cînd maneta este manevrată pe poziţiile următoare, contactul B_2 se întrerupe şi bobina contactorului rămîne conectată la reţea, în serie cu rezistenţa R_e, al cărei rol constă în reducerea curentului consumat din reţea. Dacă la un moment dat motorul se supraîncarcă sau, din alte motive, intensitatea absorbită de la reţea trece peste limită, releul *RM* funcţionează, întrerupe circuitul bobinei contactorului *KI*, acesta se liberează şi întrerupe alimentarea motorului care se opreşte la rîndul său,

readucînd releul *RM* la poziţia iniţială. Pentru a porni acum din nou motorul, este necesar ca maneta reostatului să fie adusă pe poziţia în care B_2 este din nou închis şi în care caz ciclul se repetă.

Pentru a opri motorul, este suficient fie a se apăsa pe butonul « *O* », fie

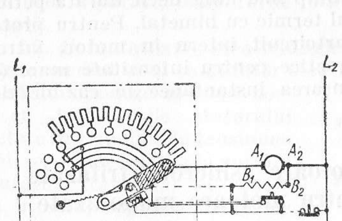


Fig. 105. — Dispozitiv de revenire automată a manetei unui reostat de pornire de tip plan cu ploturi.

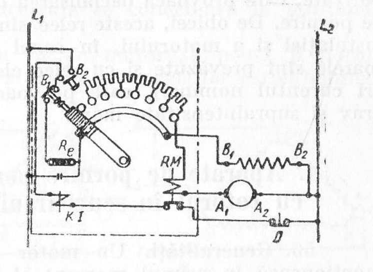


Fig. 106. — Schema unui reostat de pornire de tip plan cu ploturi cu protecţie de maximum de intensitate prin releu şi minimum de tensiune prin contactor pentru motoare de curent continuu derivaţie.

a se aduce maneta pe poziţia iniţială. În ambele cazuri circuitul contactorului *KI* este întrerupt, acesta se deschide şi întrerupe alimentarea motorului.

Contactele B_1 şi B_2 complică construcţia aparatului şi, din această cauză, s-a adoptat în U.R.S.S., ca normală, schema reprezentată în fig. 107. În această schemă comanda contactorului *KI* se face prin peria comutatoare de curent principal *A*. Pe plotul *3* contactorul este acţionat prin bobina sa, care este conectată la tensiunea totală a reţelei. Cînd peria este manevrată pe poziţiile următoare, contactorul se menţine acţionat prin contactul său propriu şi o rezistenţă R_e. În tot timpul funcţionării în circuitul de alimentare a bobinei se găseşte legat în serie contactul releului de protecţie *RM*, care este acţionat în caz de supraintensitate; deci întrerupe contactul menţionat mai sus şi liberează astfel contactorul, întrerupînd circuitul principal al motorului.

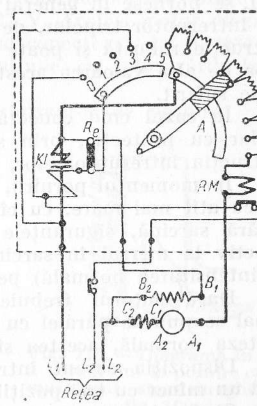


Fig. 107. — Schema normală în U.R.S.S. a reostatelor de pornire de tip plan cu ploturi cu protecţie la maximum de intensitate prin releu şi minimum de tensiune prin contactor pentru motoare de c.c. derivaţie şi compound.

Reconectarea are loc numai cînd peria este readusă pe plotul *3*. Întreruperea voită se face prin aducerea periei pe plotul *0*, în care caz bobina este şuntată şi contactorul se liberează.

Ploturile *0* şi *3* se găsesc la potenţiale diferite, din care cauză a fost necesară intercalarea ploturilor *1* şi *2*. Plotul *4* a fost intercalat pentru a nu lăsa ca motorul să fie alimentat prin perie şi ploturile *3* şi *5*, dacă acestea ar fi fost adiacente, în care caz s-ar produce arcuri puternice cînd se manevrează peria de pe plotul *3*.

Reostatele pentru motoare trifazate sînt foarte rar prevăzute cu relee de maximum de intensitate, în general această protecţie fiind asigurată de întrerupătorul automat respectiv.

Întreruptoarele automate pentru protecția motoarelor trebuie să întrerupă circuitul de alimentare al motorului, în caz de suprasarcină prelungită. Avînd în vedere, însă, că în perioada de pornire curentul mediu este de circa 1,3 curentul nominal, întreruptoarele automate respective sînt prevăzute cu relee temporizate, care provoacă declanșarea după un timp mai lung decît durata perioadei de pornire. De obicei, aceste relee sînt de tipul termic cu bimetal. Pentru protecția instalației și a motorului, în cazul unui scurtcircuit intern în motor, întreruptoarele sînt prevăzute și cu relee electromagnetice pentru intensitate mare (3—4 ori curentul nominal), care provoacă declanșarea instantanee în caz de defect grav și supraintensitate mare.

I. Aparate de pornire pentru motoare asincrone trifazate cu rotorul în scurtcircuit și pentru motoare monofazate

56. **Generalități.** Un motor asincron trifazat cu rotorul în scurtcircuit funcționează în primul moment al pornirii ca un transformator în scurtcircuit, de aceea curentul absorbit de la rețea ar fi foarte mare, dacă nu s-ar lua anumite măsuri.

În primul rînd, construcția motorului se realizează astfel, încît la pornire acest curent să fie redus în oarecare măsură. Acest lucru se obține prin motoarele cu dublă sau triplă colivie, sau cu bare înalte (v. vol. II, § 24 și 25, pag. 160-163).

Motoarele asincrone trifazate cu rotorul în scurtcircuit de puteri mici și medii, se pornesc în general direct prin conectarea statorului la rețea cu ajutorul unui întreruptor tripolar, de preferință automat. Motorul fiind relativ mic, are o construcție robustă și poate pe de o parte suporta șocul de curent de pornire, iar pe de alta valoarea acestuia din urmă nu este mare, astfel încît rețeaua nu are de suferit.

În cazul cînd conectarea se realizează prin intermediul unui întreruptor tripolar cu protecție, prin siguranțe fuzibile, trebuie luate anumite măsuri în construcția întreruptoarelor, pentru a evita desele arderi ale fuzibilelor.

În momentul pornirii, un astfel de motor absoarbe de la o rețea o intensitate cu atît mai mare, cu cît motorul pornește mai încărcat. Dacă pornirea are loc fără sarcină, siguranțele fuzibile, dimensionate pentru a proteja motorul respectiv la mersul în sarcină, pot suporta în general intensitatea de pornire (2,5 intensitatea normală) pentru o durată foarte scurtă.

Dacă motorul trebuie să pornească în sarcină, fuzibilele pentru mers normal se pun în paralel cu fuzibilele de pornire, iar după ce motorul a ajuns la viteza normală, acestea sînt deconectate, rămînînd în circuit numai primele.

Dispoziția curent întrebuințată în U.R.S.S. constă dintr-un întreruptor avînd un mîner cu trei poziții.

Cînd mînerul este în jos, circuitul este întrerupt. Pentru pornire mînerul se ridică în sus, poziție în care se cuplează siguranțele adiționale de pornire, și se așteaptă în această poziție ca motorul să ajungă la viteza de regim. După aceasta se lasă mînerul liber și acesta revine într-o poziție intermediară, deconectînd siguranțele adiționale[1]).

În schimb, dacă s-ar conecta direct la rețea motoarele de puteri mari, s-ar provoca în rețea pe de o parte, perturbări iar pe de alta motoarele, ca și organele de antrenare, ar avea de suferit.

[1]) Pentru mai multe detalii constructive se va consulta:
M. S. Trifel: *Poluavtomaticeski puskatel dlea korotkozamknutîh dvigatelei s teajelîm puskom*, Promișlenaia Energetica 5/1950.

În consecință, aceste motoare se pornesc fie prin intermediul comutatoarelor stea-triunghi, fie prin autotransformatoarele de pornire (v. vol. II, pag. 158-159, § 23). În ambele cazuri la pornire, înfășurările statorului se conectează la o tensiune redusă, limitîndu-se astfel vîrful de curent de pornire și numai după ce motorul a pornit, înfășurările statorului acestuia se conectează la tensiunea nominală.

57. **Comutatoare stea-triunghi.** Pentru ca un motor să poată fi pornit prin intermediul unui comutator stea-triunghi, statorul trebuie să fie astfel bobinat încît să funcționeze în mod normal cu înfășurările statorului conectate în triunghi la tensiunea rețelei respective. Dacă la pornire înfășurările statorului se conectează în stea, capetele libere ale celor trei faze legîndu-se la rețea, înfășurarea fiecărei faze a statorului se găsește la o tensiune egală cu $1/\sqrt{3}$ din tensiunea rețelei (fig. 108); deci și curentul de pornire va fi micșorat în aceeași proporție. De exemplu, un motor asincron trifazat cu rotorul în scurtcircuit, al cărui stator este bobinat pentru 220 V și 380 V, poate fi pornit cu un comutator stea-triunghi, numai dacă este legat la o rețea avînd 220 V între conductoarele fazelor (127 V între punctul neutru și fază). În acest caz, la pornire înfășurarea unei faze a statorului este pusă sub o tensiune de 127 V. Același motor nu poate fi pornit printr-un comutator stea-triunghi, dacă se conectează la o rețea de 380 V, deși poate funcționa normal la această tensiune cu înfășurările legate în stea.

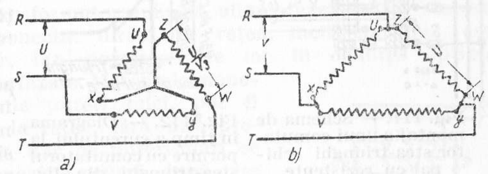


Fig. 108. — Schemele unui comutator stea-triunghi: *a* — pornire (stea); *b* — mers (triunghi)

În aceste cazuri, este nevoie de un autotransformator de pornire.

După ce motorul a pornit și a căpătat o anumită viteză, prin manevrarea convenabilă a comutatorului stea-triunghi înfășurările statorului sînt legate în triunghi, fiecărei faze aplicîndu-i-se tensiunea rețelei. Motorul funcționează normal începînd din acest moment.

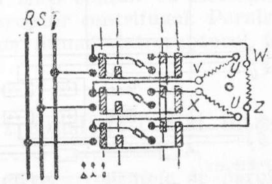


Fig. 109. — Schema de montaj a unui comutator stea-triunghi

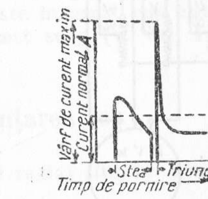


Fig. 110. — Diagrama în timp a curentului la pornire cu comutatorul stea-triunghi din fig. 109.

În fig. 109 este reprezentată schema de montaj a unui comutator stea-triunghi. În poziția «*O*» statorul motorului este deconectat de la rețea, în poziția ⅄ înfășurările sînt legate în stea și conectate la rețea, iar în poziția Δ motorul este conectat în mod normal la rețea, cu înfășurările statorului în triunghi.

La trecerea comutatorului din poziția stea în poziția triunghi se produce un moment de întrerupere a curentului în stator, ceea ce face, din cauza curentului de magnetizare al motorului, să apară un nou vîrf de curent mai mare ca primul, produs în poziția stea. Aceasta se arată în diagrama din fig. 110, care reprezintă curentul absorbit de la rețea în perioada de pornire în funcție de timp, pentru un motor pornind cu un cuplu egal cu 1/3 din cuplul nominal.

Pentru a se reduce acest al doilea vîrf, se întrebuințează un comutator stea-triunghi echipat cu rezistențe, conform schemei din fig. 111. În acest caz nu mai apare o întrerupere de curent la trecerea din poziția stea în triunghi, deoarece curentul trece în acest moment prin rezistențele de comutare, iar al doilea vîrf de curent este apreciabil redus, așa cum se arată în diagrama din fig. 112. Această diagramă a fost ridicată tot pentru motorul de mai sus, dar întrebuințîndu-se pentru pornire comutatorul reprezentat în fig. 111.

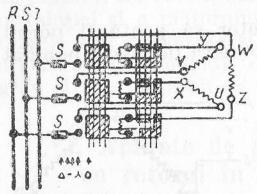


Fig. 111. — Schema de montaj a unui comutator stea-triunghi echipat cu rezistențe.

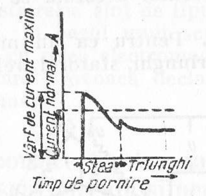


Fig. 112. — Diagrama în timp a curentului la pornire cu comutatorul stea-triunghi din fig. 111.

58. **Autotransformatoare de pornire.** În anumite cazuri, se poate întîmpla ca întrebuințarea unui comutator stea-triunghi să fie imposibilă sau nepotrivită. Astfel, de exemplu, un motor asincron trifazat cu rotorul în scurtcircuit, al cărui stator este bobinat încît să funcționeze în mod normal cu înfășurările celor trei faze conectate în stea la tensiunea rețelei respective, nu poate fi pornit cu comutator stea-triunghi. De asemenea, în cazul cînd pornirea trebuie să se facă de la distanță, întrebuințarea unui comutator stea-triunghi este nerecomandabilă, întrucît implică o legătură prin șase cabluri între comutator și motor. În aceste cazuri, motoarele se pornesc

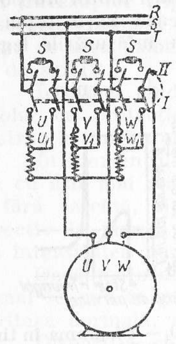


Fig. 113.—Schema de montaj a unui autotransformator de pornire echipat cu comutator cu șase cuțite.

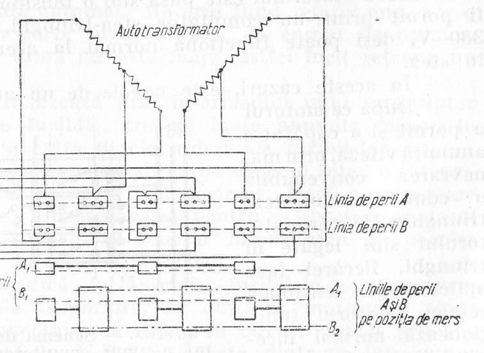


Fig. 114. — Schema unui autotransformator de pornire tip în « V » cu comutator de tip controler.

prin intermediul unor autotransformatoare de pornire prevăzute cu comutatoare adecvate (v. vol. II, pag. 80-84, § 26). Cu ajutorul acestora, în prima parte a perioadei de pornire, autotransformatorul este conectat cu bornele de tensiune mare la rețea, bornele de tensiune redusă fiind conectate la statorul motorului. Acesta pornește cu o tensiune redusă și, după ce a căpătat o viteză suficientă, se întrerupe legătura între autotransformator și rețea, statorul motorului fiind atunci pus direct pe tensiunea rețelei.

Autotransformatorul poate avea mai multe prize intermediare pentru porniri la diverse sarcini.

Fig. 113 reprezintă schema de montaj a unui autotransformator de pornire, echipat cu un comutator cu șase cuțite. Și în acest caz apare însă un moment în care curentul este întrerupt, la trecerea motorului de pe autotransformator pe rețea.

În fig. 114 este reprezentată schema unui autotransformator de pornire echipat cu un comutator de tip controler echivalent unui comutator stea-triunghi, datorită căruia se evită întreruperea de curent menționată. Autotransformatorul este de tipul în « V », construcție care se întrebuințează deseori pentru aparate de pornire și avînd dispoziția segmenților astfel aleasă, încît în momentul trecerii motorului de pe autotransformator pe rețea, curentul trece printr-una din înfășurările autotransformatorului. Se alimentează astfel statorul motorului pînă cînd acesta este conectat direct la rețea, încît nu mai este întrerupere de curent în stator, iar pornirea are loc în condiții optime.

59. **Pornirea motoarelor monofazate.** Motoarele monofazate cu repulsie (cu colector), de puteri mici, pot fi pornite direct prin conectarea lor la rețea, fără alte precauțiuni. Motoarele de același tip, dar de puteri mari, se pornesc prin aducerea periilor în poziția neutră, după care motorul se conectează la rețea. Apoi periile se rotesc progresiv pînă la poziția de mers normal, pe măsura accelerării motorului (v. vol. II, pag. 497-514, § 16-23).

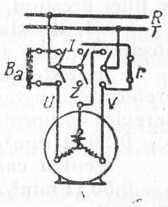


Fig. 115. — Schema dispozitivului de pornire a unui motor monofazat.

Motoarele asincrone monofazate nu pot fi pornite în general decît în gol sau cu un cuplu foarte mic. Aceste motoare sînt construite cu o fază auxiliară în stator, care în momentul pornirii se leagă la rețeaua monofazată, în serie cu o bobină de inductanță (fig. 115). Aceasta provoacă un decalaj între fluxul fazei auxiliare și cel al fazei principale (legată direct la rețea), creînd astfel un cîmp învîrtitor care lansează motorul. Apoi se întrerupe circuitul fazei auxiliare, motorul funcționînd normal. Deseori se obișnuiește ca bobina de inductanță să alcătuiască corp comun cu motorul, iar întreruperea fazei auxiliare să se facă printr-un întreruptor centrifugal. Pornirea este în acest caz automată, fiind necesar a se închide numai întreruptorul în acest scop (v. vol. II, pag. 186-187, § 47).

J. Tipuri constructive și întrebuințarea lor

60. **Tipuri constructive.** Aparatele de pornire și reglaj sînt în general de următoarele tipuri:

- Reostate metalice în aer.
- Reostate metalice în ulei.
- Controlere cu rezistențe în aer.
- Reostate cu rezistențe lichide.

Aceste aparate se pot executa în următoarele moduri de construcție: deschisă; protejată; capsulată; capsulată contra exploziilor.

În *construcția deschisă* nu se ia niciun fel de măsură de protecție, piesele sub tensiune fiind accesibile. Acest tip de construcție este în general interzis, fiind întrebuințat foarte rar și anume numai pentru tensiune joasă și pentru aparatele construite provizoriu și dacă acestea sînt manipulate de personal calificat: de exemplu, aparate provizorii pentru bancurile de probă. Pot funcționa numai în interior.

În *construcția protejată*, aparatele trebuie să aibă o protecție contra atingerilor pieselor sub tensiune de către orice persoană. Pot funcționa numai în interior, în atmosferă curată și uscată.

În *construcția capsulată*, aparatele sînt complet închise, astfel încît praful sau umezeala să nu poată pătrunde în interiorul lor. Pot funcționa atît în interior cît și în exterior, în atmosferă încărcată cu praf sau umedă. Nu pot fi întrebuințate însă în atmosfere explozive. În cazul cînd atmosfera conține gaze sau praf corosiv care ar putea ataca piesele aparatului, trebuie să se prevadă pentru acesta o construcție capsulată adecvată condițiilor speciale în care urmează să funcționeze aparatul respectiv.

Astfel, aparatele care urmează a funcționa în atmosfere explozive, mine, instalații petroliere etc., trebuie executate în construcție capsulată contra exploziilor, fiind denumite și *antideflagrante* sau *antigrizutoase*.

În aceste aparate toate dispozitivele prezentînd posibilități de formare a scînteilor, ca și punctele unde se fac conexiuni sînt complet închise, iar cutiile cuprinzînd dispozitivele, bornele, conexiunile etc. corespunzătoare trebuie să reziste unei presiuni, din interior spre exterior, de cel puțin 8 kgf/cm^2.

61. **Reostate metalice în aer.** Acestea sînt aparate care conțin, într-un singur ansamblu, atît rezistența metalică propriu zisă, cît și comutatorul.

Rezistențele se execută din aliaje aparținînd clasei $\rho = 0{,}50\ \Omega\ \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$ (de preferință constantan), pentru intensități pînă la 15 A în regim permanent sau 70 A în regim de pornire, iar pentru intensități mai mari se întrebuințează aliaje din clasa $\rho = 0{,}30\ \Omega\ \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$.

Pentru cazurile speciale cînd apar intensități foarte mici, firele din aliaje $\rho = 0{,}50\ \Omega\ \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$ ar deveni prea subțiri, iar construcția reostatelor prea delicată. În acest caz se pot întrebuința aliaje din clasa $\rho = 1\ \Omega\ \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$.

Răcirea rezistenței fiind asigurată în acest caz de circulația aerului, construcția reostatului trebuie prevăzută cu o ventilație activă.

Comutatorul reostatelor în aer este de tipul cu ploturi, dimensionat pentru a suporta intensitatea respectivă.

Acest tip de aparate se întrebuințează pentru reostate de excitație și reostate de pornire la motoare de puteri mici și cu porniri dese. Deasemenea se mai obișnuește a se întrebuința acest tip de aparate și pentru reostate de pornire la motoare de curent continuu de puteri medii pînă la 20 kW.

Se execută deobicei în construcție protejată și se întrebuințează în instalații de interior.

62. **Reostate metalice în ulei.** Acestea conțin deasemenea într-un singur ansamblu atît rezistența propriu zisă, cît și comutatorul, ambele fiind cufundate într-o cuvă cu ulei. Rezistențele sînt executate din sîrmă de fier galvanizat, iar comutatorul poate fi de tipul cu ploturi sau de tipul controler format tobă.

Aceste aparate se întrebuințează în mod general pentru pornirea motoarelor industriale, cu o frecvență normală de porniri pe oră. Pentru regimuri ușoare și normale se întrebuințează deobicei reostate de pornire cu comutatoare de tipul cu ploturi cu ax vertical. Comutatorul cu ploturi se așează deasupra rezistențelor metalice.

Pentru regimuri grele de funcționare se întrebuințează reostate de pornire cu comutatoare de tipul controler, cu ax vertical sau orizontal. În cazul cînd comutatorul este cu ax vertical, rezistențele sînt așezate lateral. Reostatele de tip controler cu ax orizontal au comutatorul montat fie deasupra rezistențelor, fie dedesubtul acestora. Această din urmă dispoziție este preferabilă, deoarece depozitul ce se formează în ulei, din cauza arcurilor de întrerupere la comutator, nu se poate așeza pe rezistență. Construcția a doua este însă puțin mai complicată.

Reostatele în ulei se execută în general în construcție capsulată și se pot întrebuința atît la instalații de interior, cît și la instalații de exterior. În acest din urmă caz însă, trebuie să se țină seamă la alegerea sau proiectarea aparatului de condițiile sale specifice de funcționare.

63. **Controlere cu rezistențe în aer.** Ori de cîte ori, din anumite considerente, comutatorul și rezistențele nu se pot construi într-un singur aparat, se recurge la separarea comutatorului de rezistențe.

Comutatorul este, în acest caz, un controler în aer sau sub ulei și poate fi cu tobă sau de tipul cu came.

Rezistențele sînt separate, la tipul în aer, după cum se va vedea mai jos și construite deobicei cu elemente de fontă, într-una sau mai multe cutii.

Conexiunile între rezistențe și controler se realizează prin conductori izolați.

Se știe că, pentru aparatele de pornire și reglaj sau aparatele de pornire cu o frecvență mare de pornire, se întrebuințează numai rezistențe cu răcire în aer. În consecință, aceste rezistențe au dimensiuni apreciabile și devine incomod a le construi la un loc cu comutatorul. Pe de altă parte, însă, în aceste cazuri, un aparat cu gabarit mare ar incomoda pe operatorul care manevrează aparatele. Acesta este cazul mașinilor de ridicat (macarale, poduri rulante etc.), al celor de tracțiune electrică și al mașinilor cu manevre multiple și simultane (de exemplu, cazul mașinilor pentru încărcarea cuptoarelor deschise Martin în oțelării). În aceste cazuri, operatorul trebuie să aibă la îndemînă aparate de manevră de gabarit mic și ușor de manevrat, pentru a putea supraveghea cu ușurință funcționarea mașinii respective.

În consecință, în astfel de condiții sînt recomandabile controlerele montate în cabina operatorului, dar funcționînd cu rezistențe separate în aer, care se montează în exteriorul cabinei.

Controlerele se execută de tipul în aer și protejate pentru mașini de ridicat, pentru mașini de tracțiune și, în general, pentru instalații mobile. Pentru curent continuu, controlerele în aer se echipează cu dispozitive de stingere a arcului. Pentru instalațiile fixe, controlerele se execută sub ulei în construcție capsulată.

Rezistențele se execută deobicei cu elemente de fontă, în construcție protejată și prevăzute cu o ventilație activă.

Pentru aparatele cu frecvență mare de funcționare este deseori avantajos a se întrebuința controlere care comandă în mod convenabil contactoare, asigurînd la rîndul lor comutările necesare. Controlerele funcționează în acest caz cu intensități reduse, deoarece stabilesc sau întrerup numai curenții de valori reduse din bobinele contactoarelor.

În consecință forța de apăsare pe contacte este aici mică, iar efortul necesar din partea operatorului este foarte mic și puțin obositor. Acest sistem de comandă, deși mai costisitor cîștigă tot mai mult teren și capătă întrebuințări din ce în ce mai variate și multiple.

64. **Reostate cu rezistențe lichide.** Acestea formează o categorie rar întrebuințată înlocuită în ultimul timp cu reostate metalice. În cazurile, însă, cînd este necesar un reglaj foarte fin, întrebuințarea reostatelor cu lichid este recomandabilă, deoarece permite o variație perfect continuă a rezistenței. Manevrarea lor se poate face manual sau automat, prin servomotoare.

Tipurile constructive, ca și parte din întrebuințările speciale ale acestei categorii de reostate, s-au arătat la subcap. *E*.

K. Exploatarea aparatelor de pornire și reglaj

65. **Indicații generale privind montajul, exploatarea și întreținerea aparatelor de pornire și reglaj.** α) *Transportul*. Aparatele de pornire și reglaj trebuie manipulate cu grijă în timpul transportului, evitîndu-se ca acestea să fie trîntite sau sdruncinate puternic. În cazul cînd aparatele sînt transportate pe platforme deschise, este necesar ca ele să fie acoperite, astfel încît să nu fie direct expuse intemperiilor.

β) *Păstrarea.* Aparatele se vor păstra într-un loc uscat și bine acoperit.

γ) *Montajul.* Aparatele transportate și fixate pe locul de montaj trebuie în prealabil verificate electric. Această verificare este esențială, deoarece elimină eventualele cauze de nefuncționare sau de rea funcționare a sistemului. Astfel:

— Se va controla dacă datele etichetei aparatului corespund cu datele mașinii aferente.

— Se va verifica izolația între piesele conducătoare de curent și masa aparatului, pe de o parte, și între piesele supuse la tensiuni diferite, pe de alta. Verificarea se poate face cu un megohmmetru, pentru aparatele de joasă tensiune, sau cu o instalație specială, pentru aparatele funcționînd la tensiune medie.

— Se va verifica valoarea ohmică a rezistențelor cu un ohmmetru sau cu o punte. Rezistența ohmică măsurată trebuie să corespundă celei marcate pe etichetă, în limita toleranțelor specificate de constructor. În acest fel se poate constata dacă există întreruperi sau atingeri în interiorul rezistenței.

Montajul se va executa conform schemei specifice,furnizate de uzina constructoare sau de proiectantul sistemului respectiv. Trebuie să se dea o deosebită atenție ca să nu se omită legăturile la pămînt ale corpului masei diverselor aparate. Aceste legături trebuie să fie bine executate, deoarece, în caz contrar, se pot întîmpla accidente grave de personal.

— Se vor controla reglajul mecanic și diversele jocuri din aparate, conform instrucțiunilor date de constructor.

La aparatele cu ulei se va curăța și usca cuva, după care se va umple cu ulei de transformator sau de calitatea specificată de constructor, dacă este cazul, pînă la nivelul indicat pe sticla de nivel de ulei a cuvei.

δ) *Punerea în funcțiune.* După efectuarea controlului aparatajului și după ce mașina corespunzătoare a fost verificată, conform instrucțiunilor specifice acesteia, întregul ansamblu se poate pune în funcțiune.

Dacă este posibil, aceasta se va face mai întîi cu mașina respectivă mergînd în gol. În cazul cînd ansamblul funcționează satisfăcător în gol, mașina poate fi pusă în sarcină.

În caz contrar, ansamblul trebuie oprit imediat și trebuie cercetată cauza care provoacă defecțiuni în funcționare. După ce defectul va fi găsit și remediat, ansamblul se va pune din nou în funcțiune.

ε) *Exploatarea.* Exploatarea aparatelor de pornire și reglaj trebuie să se facă în conformitate cu instrucțiunile specifice aparatelor propriu zise și cu procesul operativ al ansamblului respectiv.

În general, aparatele trebuie să fie manevrate cu grijă, evitîndu-se bruscarea acestora sau manevre anormale, interzise de instrucțiunile respective. Orice manevră bruscă sau anormală dă naștere în general la vîrfuri de curent de valori mari, care uzează în mod prematur contactele aparatelor și pot da loc la defectarea mașinilor aferente. În cazul reostatelor de excitație ale generatoarelor, manevrele brusce pot da loc la supratensiuni apreciabile, care au în general urmări serioase pentru rețea și mai ales pentru aparatele conectate la aceasta.

Ori de cîte ori se observă o anomalie în funcționare, trebuie avizat imediat serviciul de întreținere respectiv pentru a verifica agregatul și a lua măsuri de repararea defectelor.

ς) *Întreținerea.* Asigurarea unei permanente și bune funcționări a aparatelor de pornire și reglaj este condiționată nu numai de respectarea normelor de exploatare ci și de o bună întreținere. Aceasta trebuie astfel organizată, încît majoritatea lucrărilor să fie cele de întreținere preventivă, în vederea reducerii la minimum a lucrărilor de înlăturare a defectelor accidentale, care cauzează o oprire de oarecare durată a funcționării ansamblului respectiv.

Verificarea aparatelor de pornire și reglaj trebuie efectuată cu periodicitatea recomandată de constructor, ținîndu-se seamă și de condițiile de funcționare. Cu cît regimul de funcționare este mai greu, cu atît verificările trebuie să fie făcute mai des.

Ori de cîte ori se vor observa începuturi de perlări periculoase ale contactelor, arsuri ale acestora, jocuri prea strînse sau orice alte semne de defectare, care ar putea da loc la o funcționare nesigură, trebuie luate imediat măsuri de îndepărtare a acestor începuturi de defecte, spre a se evita alte efecte mai grave, cum și întreruperi în funcționarea echipamentului electric.

Ori de cîte ori se înlocuiesc sau se ajustează piese, trebuie să se facă un control al reglajului pieselor respective și al celor legate de acestea în funcționare.

La stabilirea planului de întreținere a unui ansamblu de echipamente electrice, trebuie să se facă o apreciere judicioasă a necesarului de personal corespunzător, astfel ca acesta să fie suficient. O economie prea mare de personal poate duce uneori la lipsa înteținerii preventive, deci la uzuri premature, defecțiuni frecvente, întreruperi în funcționare etc., care provoacă în general pierderi cu mult mai mari decît economia realizată printr-un personal redus.

În tabela 28 se dau datele informative asupra periodicității reviziilor aparatelor și echipamentelor electrice aferente instalațiilor industriale de tip curent. În cazul cînd instrucțiunile fabricii constructoare vor prevedea revizii la perioade diferite de cele conținute în tabelă, se vor aplica în mod strict instrucțiunile primite cu aparatele respective.

Tabela 28. Periodicitatea reviziilor aparatelor și echipamentelor electrice aferente instalațiilor industriale

Felul aparatului, echipamentului și mașinilor antrenate	Numărul manevrelor	Periodicitatea de revizie
Reostate de pornire industriale	2—3 pe zi	6 luni
Reostate de pornire și reglaj industriale	20 pe zi	1 lună
Transformatoare	5—6 pe zi	1 lună
Foarfece și prese cu volant	6—10 pe zi	1 lună
Reostate de excitație pentru generatoare	8—10 pe oră	1 săptămînă
Mașini de tipar	3—4 pe oră	1 săptămînă
Compresoare	3—4 pe oră	1 săptămînă
Ferăstraie circulare și cu bandă	3—4 pe oră	1 săptămînă
Pompe centrifuge pentru hidrofoare, instalații hidraulice etc.	20 pe oră	1 săptămînă
Ascensoare pentru mărfuri (monte-charge)	6 pe oră	2 săptămîni
Ascensoare pentru locuințe	12 pe oră	1 săptămînă
Ascensoare pentru magazine, instituții	60 pe oră	3 zile
Echipamente pentru macarale și poduri rulante funcționînd cu un schimb pe zi	60—120 pe oră	3 zile
Echipamente pentru macarale și poduri rulante, funcționînd cu trei schimburi pe zi	60—120 pe oră	1 zi
Echipamente pentru mașini de extracție miniere	15—20 pe oră	1 zi
Echipamente pentru foraj petrolifer	20—40 pe oră	1 zi
Echipamente pentru mașini de încărcat cuptoare Martin (oțelării)	60—120 pe oră	1 zi

III. APARATE DE CONECTARE

NOȚIUNI GENERALE ȘI TEORETICE

A. Generalități

a) Introducere

1. Rolul aparatelor de conectare. Instalațiile electrice de orice fel cuprind numeroase aparate de conectare, care servesc la întreruperea și închiderea (conectarea, și comutarea) circuitelor electrice.

Rolul propriu zis al aparatelor de conectare este stabilirea, întreruperea sau comutarea curenților în circuitele electrice, în stare normală de funcționare.

Totuși, o parte dintre aparatele de conectare trebuie să facă față și cazurilor anormale de funcționare (suprainteșnsități, scurtcircuite etc.), cînd, fiind comandate de anumite aparate de protecție, care au rolul de a sezisa și de a localiza defectele în instalații (relee), trebuie să execute, în mod automat, anumite manevre în instalații, și anume — în general — întreruperea și scoaterea de sub tensiune a circuitelor. În aceste cazuri există o colaborare strînsă și funcțională între aparatele de conectare și aparatele de protecție.

2. Criterii generale. Întreruperea, stabilirea și manevrarea circuitelor electrice sînt legate de fenomene care depind de tensiunea și de intensitatea de regim a circuitului, de suprainteșnsitățile și supratensiunile care pot interveni în cazuri accidentale, de viteza mișcării de întrerupere etc. În consecință, soluțiile tehnice pentru întreruperea circuitelor și formele constructive ale aparatelor de manevră sînt foarte variate. Pe cînd la joasă tensiune și la intensități de ordinul a 10 A, formele constructive și problemele sînt dominate mai mult de rezistența mecanică de durată (criteriul numărului maxim de manevrări suportate, la tensiuni mai înalte și intensități mai mari, din cauza arcului care apare între contactele care se depărtează, intervin probleme mult mai complicate, în legătură cu stingerea cît mai rapidă a arcului (criteriul puterii de rupere). Aceste probleme devin, uneori, atît de complicate, la tensiuni de peste 300 kV și mai ales la curent continuu, încît ele sînt determinante pentru executarea și funcționarea instalațiilor respective. În stadiul actual al tehnicii, problema întreruptoarelor de curent alternativ este rezolvată pînă la tensiuni de ordinul a 400 kV. Deoarece întreruptoarele pentru o astfel de tensiune au înălțimea de 9 m, problemele constructive devin dintre cele mai dificile. Cum, în această materie, calculul teoretic al fenomenelor nu a ajuns încă la forme și la rezultate definitive, progresul se poate realiza numai prin încercări experimentale, cu un utilaj de laborator greu și complicat. Lucrările de cercetare în acest domeniu se execută doar în cîteva laboratoare, dotate cu tot utilajul necesar.

b) Clasificare

3. După funcțiuni, aparatele de conectare se împart în următoarele grupe:
α) întreruptoare și separatoare;
β) contactoare și ruptoare;

γ) comutatoare și controlere;
δ) prize și conectoare.
După frecvența de acționare:
α) regim permanent;
β) acționare rară;
γ) acționare frecventă.
După destinație:
α) întreruptoare de sarcini mici;
β) întreruptoare de putere;
γ) contacte de telecomunicații.
După performanțele cerute contactelor:
α) rezistență de contact constantă;
β) rezistentă contra:
— oxidației în aer;
— atmosferelor corozive;
γ) ardere specifică redusă;
δ) rezistență la sudarea contactelor;
ε) uzură redusă.

4. **După felul manevrării,** întreruptoarele se împart în două clase principale: întreruptoare *neautomate* și întreruptoare *automate.* Cele neautomate pot să fie cu acționare directă manuală sau cu acționare indirectă.

c) Definiții și terminologie

5. **Întreruptoarele** sînt aparate care au rolul de a produce închiderea și întreruperea unui circuit electric străbătut de curent.

Separatoarele (sau secționoarele) sînt întreruptoare de o construcție simplificată, destinate să realizeze în mod vizibil și cu izolație suficientă, conectarea sau deconectarea unei porțiuni de circuit care nu se află sub sarcină.

Atît întreruptoarele cît și separatoarele au două poziții staționare de funcționare: în circuit închis și în circuit deschis.

Întreruptoarele sînt *neautomate,* cînd acționarea lor se face, în mod exclusiv, printr-o manevrare voită din afară. Întreruptoarele neautomate pot fi cu *acționare directă manuală,* cînd sînt manevrate direct cu mîna, sau cu *acționare indirectă* (comandă la distanță), cînd sînt manevrate dela distanță, fie prin intermediul unei comenzi mecanice cu pîrghie, cu tijă sau cu aer comprimat, fie prin intermediul unei comenzi electrice cu relee sau cu motor electric de acționare.

Întreruptoarele neautomate sînt folosite în exploatare pentru manevrare voită, în vederea închiderii sau deschiderii unui circuit, după nevoile exploatării.

Întreruptoarele se numesc *automate,* cînt închiderea sau deschiderea lor se face în mod automat, printr-o acțiune proprie provocată de realizarea în circuit a unor anumite condiții predeterminate.

Întreruptoarele a căror deschidere se produce în mod automat se numesc *disjunctoare* (întrerup un circuit), iar cele a căror închidere se produce în mod automat se numesc *conjunctoare* (închid un circuit). Întreruptoarele care realizează, în mod automat, închiderea și deschiderea unui circuit în condiții predeterminate, se numesc *conjunctoare-disjunctoare.*

Deschiderea unui întreruptor automat (disjunctor), provocată în mod automat, prin realizarea condițiilor predeterminate, se numește *declanșare.*

Închiderea unui întreruptor automat, provocată în mod automat sau neautomat, se numește *anclanșare.*

Din punct de vedere constructiv, operația de declanșare, la un disjunctor, și cea de anclanșare, la un conjunctor, se realizează prin acțiunea unui *declanșor,* care ridică un zăvor de *blocare* a mecanismului de acționare automată (un arc sau o contragreutate) al întreruptorului automat. Acționarea declanșorului se poate obține și prin închiderea unui circuit electric, produsă de un *releu.*

Declanșoarele sînt aparate electromagnetice, electrotermice, mecanice etc., care provoacă declanșarea unui întreruptor automat, printr-o acțiune mecanică de deblocare a acestuia.

Releele sînt aparate electromagnetice, electrotermice, electrodinamice, de inducție, mecanice etc., care, prin acțiunea electrică a contactelor lor, provoacă deschiderea, închiderea, sau modificarea unuia sau a mai multor circuite electrice, cînd se îndeplinesc anumite condiții predeterminate în alte circuite.

Întreruptoarele automate sînt folosite la manevrarea circuitelor, în mod automat, în special în vederea protejării instalațiilor contra efectelor supraintensităților, a lipsei de tensiune și a scurtcircuitelor apărute în mod accidental și care nu pot fi prevenite printr-o manevră manuală directă sau cu comandă la distanță.

Întreruptoarele automate sînt, în mod normal, prevăzute și cu dispozitive de manevrare neautomată, fie prin acționare manuală, fie prin comandă la distanță, fie prin ambele sisteme.

Un întreruptor automat este cu *declanșare liberă,* cînd este prevăzut cu un dispozitiv care permite ca declanșorul să decupleze organul de comandă manuală (directă sau la distanță) de mecanismul de închidere al întreruptorului, astfel încît, atît timp cît condițiile predeterminate pentru declanșare subsistă, întreruptorul să nu mai poată fi anclanșat.

Un întreruptor este cu *anclanșare împiedicată,* cînd este prevăzut cu un dispozitiv care îl împiedică să fie închis, atît timp cît circuitul se găsește într-o stare care i-ar putea provoca deschiderea automată.

Un întreruptor este cu *reanclanșare împiedicată,* cînd este prevăzut cu un dispozitiv care îl împiedică să mai fie închis, după un număr stabilit de încercări de închidere, circuitul menținîndu-se în starea predeterminată pentru deschiderea automată.

Un *aparat cu manevră manuală* se spune că este cu *deschidere bruscă,* atunci cînd este prevăzut cu un dispozitiv care produce totdeauna o deschidere rapidă, oricare ar fi viteza cu care este manevrat organul de comandă manuală.

Un aparat cu comandă manuală este numit cu *închidere independentă* sau cu *deschidere independentă,* cînd este prevăzut cu un dispozitiv care provoacă închiderea și deschiderea rapidă și completă, îndată ce mișcarea de închidere sau de deschidere este amorsată, oricare ar fi viteza comunicată sau deplasarea imprimată organului de comandă.

Durata realizării întreruperii complete poate să constitue, de asemenea, un criteriu de diferențiere a întreruptoarelor, deoarece, în caz de scurtcircuit, poate fi necesar ca întreruperea completă a curentului să fie făcută cît mai repede.

Întreruptoarele care declanșează într-un ritm mai scurt decît cel normal și care, la curent alternativ poate fi de maximum 1—2 perioade, se numesc *întreruptoare rapide.*

În cazul instalațiilor importante de curent continuu (de exemplu, la tracțiune electrică) la care, din cauza inductanței reduse a circuitelor și, în special a generatoarelor, curentul poate să capete valori foarte mari în caz de scurtcircuit, și la care stingerea arcului în întreruptor se face mai greu, se folosesc întreruptoare construite în mod special pentru a întrerupe curentul într-un timp cît se poate de scurt, și care se numesc *ultrarapide.* Timpul de declanșare al acestora este de ordinul 1/100 . . . 1/1000 s.

6. **Contactoarele și ruptoarele** sînt aparate destinate să producă închiderea sau deschiderea unui circuit ale cărui elemente mobile au o singură poziție staționară, din care sînt deplasate, printr-o comandă din afară, provocată de reali-

zarea normală a unor condiții prestabilite în funcționarea unei instalații și fiind menținute în poziția comandată atît timp cît durează aceste condiții.

Un *contactor* are o poziție staționară în circuit deschis, fiind deplasat prin comanda din afară pentru a închide circuitul, iar un *ruptor* are poziția staționară în circuit închis, fiind deplasat pentru a deschide circuitul. În consecință, atît contactoarele, cît și ruptoarele sînt întreruptoare comandate pe cale electrică sau mecanică, pentru a realiza un anumit program mecanizat de punere sau de scoatere din funcțiune a unor mașini sau aparate.

Aplicațiile cele mai uzuale ale contactoarelor sînt: închiderea succesivă a diferitelor circuite de comandă în funcționarea instalațiilor de ascensoare, a mașinilor-unelte pentru operații multiple, a injectoarelor automate (prin termostate). Dintre aplicațiile uzuale ale ruptoarelor, se citează dispozitivele de protecție ale instalațiilor industriale bazate pe întreruperea curentului principal, cînd intervine o dereglare sau o depășire a temperaturii normale într-unul dintre organele instalației.

7. Comutatoarele sînt aparate care au rolul de a înlocui o porțiune de circuit cu alta, sau de a modifica, în mod succesiv, conexiunile unuia sau mai multor circuite. Comutatoarele sînt folosite, în mod frecvent, la reostate de reglare și de pornire, pentru stabilirea diferitelor contacte, în vederea variației în trepte a rezistențelor.

Comutatoarele construite în mod special pentru a introduce sau a scoate din circuite elemente conținînd forțe electromotoare (elemente de acumulatoare, spire de transformatoare etc.) sînt numite *reductoare de baterie* sau *comutatoare de prize.*

Comutatoarele care permit o combinare a mai multor manevre (de pornire, reglaj de viteză, schimbare de sens de rotație și eventual frînare) printr-o dispoziție a contactelor mobile pe un cilindru și a celor fixe pe una sau pe mai multe generatoare se numesc *controlere.* Ele sînt folosite în echipamentul electric de manevră al vehiculelor, al mașinilor de ridicat și al mașinilor speciale prevăzute cu motoare electrice.

8. Prizele de curent sînt ansambluri de organe care leagă un receptor sau un element de instalație mobilă la o canalizare fixă.

9. Conectoarele sînt ansambluri de organe care leagă între ele două canalizări mobile.

d) Domeniu, evoluție, tendințe

10. Influența tensiunii și a puterii de rupere. După fenomenele fizice care au loc în aparatele de conectare, în funcție de tensiunea de regim, se vor trata separat în cele ce urmează, aparatele pentru tensiuni pînă la 1 kV inclusiv, denumite aparate de joasă tensiune, și separat aparatele pentru tensiuni de regim peste 1 kV, denumite aparate de înaltă tensiune. La acestea din urmă, în special la întreruptoare, caracteristica principală o formează dispozitivele și metodele pentru stingerea arcului.

Atît timp, cît puterile în generatoarele care alimentează rețele electrice au fost reduse problema întreruperii circuitelor în cazuri de defectări se mai putea rezolva cu mijloace relativ simple. S-a găsit atunci, că întreruptorul cu contacte sub ulei este superior din punctul de vedere al capacității de rupere, celui cu contacte în aer, astfel încît, el a fost introdus în mod general, în instalațiile cu tensiuni peste 1 kV. Pe măsură, însă, ce puterea generatoarelor din centralele electrice a crescut, și au început interconectările dintre centrale și rețele, s-a observat că aparatele de manevră și instalațiile în general, nu mai rezistau la solicitările mecanice și termice, la care erau supuse în cazuri de defectări urmate de supraintensități (scurtcircuite). Construcția instalațiilor a trebuit deaceea să fie întărită considerabil și la fel și cea a aparatelor de manevră; mai ales întreruptoarele cu putere mare de rupere au trebuit să fie construite cu o rezistență mecanică mai mare. Din cauza lipsei de criterii obiective pentru evaluarea

acestei rezistențe a întreruptoarelor s-au înregistrat în unele cazuri accidente foarte grave datorite exploziei întreruptoarelor cu ulei, care nu puteau să facă față solicitărilor din instalațiile respective. Aceste explozii aveau urmări dezastruoase pentru instalații, provocînd dărîmări de construcții, incendii și accidente grave pentru personalul din stații și uzine electrice. În consecință, au început studii mai amănunțite ale rezistenței la scurtcircuite a întreruptoarelor, în vederea stabilirii unor criterii unitare de dimensionare. În prezent, întreruptoarele dintr-o rețea interconectată se dimensionează după solicitările cele mai grave care pot apărea ținînd seamă de dezvoltarea rețelelor pe un timp de cel puțin 20 de ani. Puterea de rupere, definită în mod convențional, a ajuns, în marile rețele de înaltă tensiune, la valoarea de 5 milioane kVA (5 000 MVA). Odată cu stabilirea unor interconexiuni între rețelele naționale, care se așteaptă într-un viitor apropiat, este probabil ca puterile de rupere să mai crească și peste această valoare.

Întrucît organele principale ale unui întreruptor sînt *contactele*, se va trece mai jos la studiul teoretic și practic al acestora.

B. Contacte electrice

a) Definiții și clasificări

11. Definiții. Contactul electric este locul de atingere a doi conductori, strînși sau apăsați unul asupra celuilalt. Prin extindere, contacte se numesc chiar părțile de conductori care sînt în atingere.

Contactele pot să fie *staționare* sau *mobile*, cele staționare putînd fi, la rîndul lor, *fixe* sau *intermitente.* La contactele staționare, piesele conductoarelor în atingere se află în repaus, în funcționarea curentă, iar la cele mobile, în mișcare unul față de celălalt. Contactele fixe nu se desfac în timpul trecerii curentului electric prin ele, pe cînd cele intermitente pot să fie închise sau deschise la nevoie în timpul exploatării.

12. Clasificarea contactelor. Din punctul de vedere al naturii geometrice a suprafețelor în atingere se deosebesc în mod practic: *contacte punctiforme* (între sfere, între sferă și plan, între doi cilindri încrucișați etc.); *contacte liniforme* (între cilindru și plan, muchie de prismă și plan etc.); *contacte de suprafață* (între două plane etc.).

Aparatele electrice au totdeauna *borne* sau *contacte de racordare,* prin care ele sînt legate la circuitele exterioare. Contactele de racordare sînt, de obicei, *contacte fixe*, dar nu permanente. Ele nu se sudează, pentru ca la stabilirea și desfacerea legăturii prin sudare, anumite părți ale aparatului să nu se încălzească peste limita admisibilă. Legătura contactelor fixe la borne și în interiorul aparatelor se realizează, deobicei, prin *șuruburi de fixare.*

Afară de contactele fixe, aparatele conțin *contacte mobile*, cum sînt contactele alunecătoare la reostate și contactele de deschidere a circuitelor la întreruptoare. Acestea din urmă se mai pot împărți, după destinația lor, în *contacte principale*, care servesc la trecerea curentului în regim normal (cu întreruptorul închis) și *contacte de rupere*, care preiau de la cele principale arcul electric, pînă la stingerea lui. În acest scop, întreruptoarele se echipează cu *dispozitive de stingere a arcului.*

b) Natura rezistenței de contact

13. Rezistența de stricțiune. La suprafața de contact între două piese metalice apare totdeauna o rezistență mai mare decît cea inerentă secțiunilor metalice corespunzătoare. La început, s-a presupus că această mărire de rezistență s-ar datori unui strat de impurități sau de oxid, aflat pe suprafața contactelor, strat care ar mări rezistivitatea materialului.

S-a arătat ulterior de B i n d e r că rezistența de contact, în contacte sub presiunile obișnuite în instalațiile industriale, nu este dată practic de vreun strat

izolant sau de oxizi între suprafețele de contact metalice, ci este o *rezistență de stricțiune a liniilor de curent*. Dacă ar exista o pătură oricît de subțire de izolant între piesele în contact, ar trebui să se determine o tensiune minimă de străpungere a contactului. Prin experiență, s-a dovedit însă că legea lui Ohm se verifică practic în contacte pînă la cele mai mici tensiuni aplicate acestora.

Suprafața metalelor, chiar lustruite, este foarte neregulată, ceea ce se poate vedea azi la microscopul electronic; într-un contact, numai anumite vîrfuri cu suprafețe foarte mici sînt în atingere directă metalică.

Mărirea de rezistență apare din cauza stricțiunii liniilor de curent, în apropierea imediată a suprafețelor de contact.

14. **Pături străine.** Cercetări mai amănunțite ale lui Holm au arătat că pe toate suprafețele metalice care se află în aer, în lichide, etc., se depune, prin absorbție, o pătură foarte subțire din gazul sau din lichidul înconjurător, care aderă cu atît mai mult la suprafața metalului, cu cît este mai aproape de aceasta. Prima pătură monomoleculară aderă cu o presiune care poate atinge mai multe sute de atmosfere și se poate deplasa numai prin presiuni corespunzătoare.

Conductivitatea electrică în pături atît de subțiri este asigurată însă prin salturi de electroni, peste această pătură, datorită agitației termice a electronilor, influenței cîmpului exterior și efectului tunel. Pătura monomoleculară, care în aer este deobicei de oxigen, se poate deplasa numai prin încălzire în vid. Contactele care au numai această pătură mono-sau bimoleculară de gaze între suprafețele metalice, se pot considera totuși practic, metalice, deoarece rezistența datorită stratului molecular aderent este mult inferioară rezistenței de stricțiune a liniilor de curent. Numai la straturi mult mai groase de oxizi și de impurități în contacte, rezistența acestora poate deveni de ordinul de mărime al rezistenței de stricțiune.

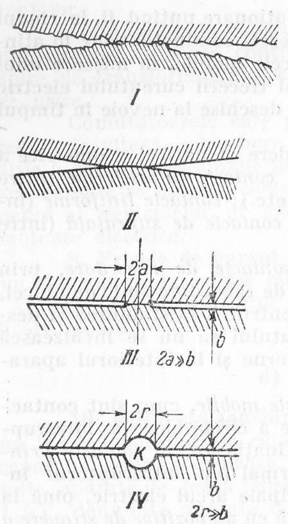


Fig. 1. Atingere punctiformă între două suprafețe metalice, în secțiune:
I — conformația probabilă; *II* — prima aproximație: suprafața plană de atingere; *III* — a doua aproximație: suprafață circulară de atingere, înconjurată de pătură termic izolantă; *IV* — a treia aproximație: suprafață sferică de atingere, sfera avînd conductibilitatea infinită.

Funcționarea principială a contactelor se poate studia numai în cazul cînd contactele se presupun practic metalice, adică fără straturi de impurități între ele, afară de cele moleculare. Rezultatele obținute din cercetările făcute în aceste condiții, au fost de cea mai mare importanță pentru construcția rațională a contactelor.

c) Suprafețe de contact și presiunea în contact

15. **Suprafețe microscopice de contact.** Cînd un contact se stabilește sub o presiune mică, se produce inițial o atingere între vîrfuri care se deformează elastic. La apăsări mai mari, aceste vîrfuri se deformează permanent și contactul se face pe suprafețe microscopice de contact s în care apare tensiunea de deformare plastică a materialului (fig. 1).

Dacă F este forța cu care se apasă contactul și dacă se presupune că tensiunea în contact este uniformă, suprafața microscopică s se poate calcula din relația simplă:

$$s = F/\sigma,$$

forța F putînd fi măsurată, iar σ (kg/cm²) fiind

rezistența de deformare a materialului, de valoare cunoscută. De fapt, însă, tensiunea mecanică descrește din centrul suprafețelor microscopice pînă la marginea lor, unde dispare. Dacă descreșterea ar fi liniară, presiunea medie în suprafețele microscopice de atingere ar fi de $p = \sigma/2$, iar suprafața microscopică corespunzătoare: $s = 2\,F/\sigma$.

La contacte bune, se poate atinge practic o presiune de:

$$p = \sigma/10,$$

în suprafețele reale de contact.

Notînd cu S suprafața macroscopică de contact și cu s suprafața microscopică de contact, se constată experimental și prin calcul că raportul lor în suprafețe plane de contact este:

$$\frac{S}{s} = 10^4 \ldots 10^5.$$

Suprafața reală de atingere este o fracție cu atît mai mică din suprafața aparentă de contact, cu cît această suprafață aparentă este mai mare. Fracțiunea este foarte mică la contacte de suprafață și aproape unitară la contacte punctiforme între piese sferice.

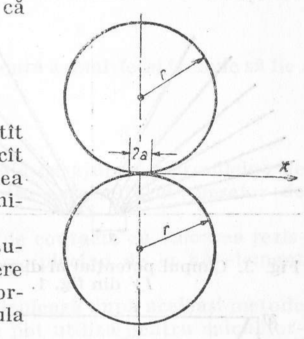


Fig. 2. — Atingere între două sfere elastice.

16. **Contactul ideal între două sfere.** Raza a a suprafeței de contact circulară $s = \pi\, a^2$, între două sfere (fig. 2) de aceeași rază r, presate una pe alta și deformate din cauza elasticității, se calculează cu formula lui Hertz:

$$a = 1{,}11\,\sqrt[3]{Fr/E},$$

în care: F este forța de apăsare, în kgf sau N;

E — modulul de elasticitate, în kgf/cm² respectiv N/cm²;

r — raza sferelor, în cm.

Presiunea pe suprafața de contact nu este uniform repartizată, ci variază după relația:

$$p = \frac{1{,}5\,F}{\pi\, a^2}\sqrt{a^2 - x^2},$$

fiind maximă la centru ($x = 0$) și egală cu zero la periferie ($x = a$).

Presiunea maximă este dată de:

$$p_{max} = \frac{1{,}5\,F}{\pi a^2} = 1{,}5\,\frac{F}{s}.$$

Deplasarea centrelor sferelor, din cauza turtirii, este:

$$\delta = \frac{s^2}{r}.$$

În acest caz există un contact ideal, numit „punctiform"; suprafața reală de contact poate fi prevăzută, deoarece, la aceste contacte punctiforme, $S = s$, deci suprafața de contact macroscopică este egală cu cea microscopică.

d) Calculul rezistenței și al încălzirii contactelor

17. Schematizarea contactului. Rezistența de contact se compune aditiv din rezistența de stricțiune a liniilor de curent și dintr-o rezistență de trecere sau peliculară, datorită stratului molecular sau unor straturi mai groase de oxizi și de impurități. Dacă într-o suprafață de contact macroscopică, punctele de contact sînt depărtate unul de altul, astfel încît liniile de curent în regiunea de stricțiune să nu se influențeze reciproc, rezistența totală de stricțiune se compune aditiv din suma rezistențelor de stricțiune a punctelor de contact.

Din punctul de vedere al rezistenței ohmice și al încălzirii, rezistențele de stricțiune ale contactelor multiple microscopice pot fi înlocuite cu o rezistență de stricțiune care are o singură suprafață de contact (deobicei se alege o suprafață circulară sau sferică) și cu aceeași rezistență ca și contactul real, astfel încît, la fel cu circuitele electrice, contactele se calculează pe bază de scheme echivalente.

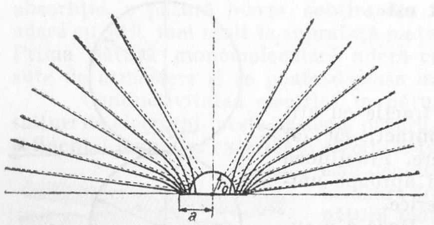


Fig. 3. Cimpul potențial al dispoziției *III* și *IV* din fig. 1.

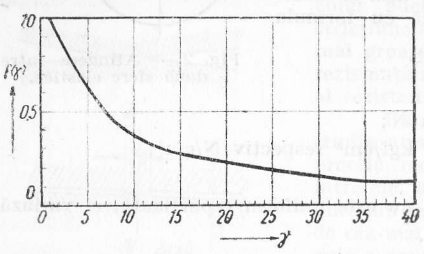


Fig. 4. Factorul de formă pentru suprafețe eliptice de contact.

Rezistența de contact fiind dată de stricțiunea liniilor de curent, rezistivitatea metalului se extinde în toată zona contactului. Rezistența de stricțiune se calculează în funcție de această rezistivitate a metalului, considerată deobicei constantă, pentru simplificarea calculului. În realitate, variația ei cu temperatura modifică de fapt substanțial tabloul fenomenologic.

Schema cea mai simplă a unui contact de stricțiune este cea care corespunde atingerii a două suprafețe plane ale unor corpuri omogene și isotrope, pe o suprafață foarte mică. Considerînd suprafața de contact reală egală cu un cerc, suprafețele echipotențiale în piesele de contact masive sînt elipsoizi, iar liniile de curent se află pe hiperboloizi (fig. 3).

La o suprafață microscopică de contact $s = \pi a^2$, corespunde o rezistență de stricțiune a piesei de contact, după relația:

$$R = \frac{\rho}{4a},$$

iar pentru două piese în contact, rezultă în total $R = \rho/2\,a$. Dacă există m astfel de suprafețe practic punctiforme în paralel, rezistența totală de stricțiune devine: $R = \rho/2\,ma$. În cazul cînd contactul punctiform apare între două corpuri cu rezistivități diferite ρ_1 și ρ_2, rezistența totală va fi:

$$R = \frac{\rho_1}{4a_1} + \frac{\rho_2}{4a_2}.$$

Pentru simplificare se consideră că, în contactul punctiform, suprafețele echipotențiale sînt sfere, iar liniile de curent, drepte (fig. 3). În acest caz, rezistența

unei semisfere cu grosimea dr este:

$$dR = \frac{\rho\, dr}{2\pi r^2},$$

și, prin integrare între r_0 și ∞, se obține rezistența de stricțiune:

$$R = \frac{\rho}{2\pi\, r_0}.$$

Pentru întregul contact (ambele piese) rezultă:

$$R = \frac{\rho}{\pi r_0}.$$

Spre a avea aceeași rezistență R ca mai sus, raza echivalentă a semisferei trebuie să fie:

$$r_0 = \frac{2\,a}{\pi}.$$

La contacte practic punctiforme, se poate calcula cu ajutorul formulelor de mai sus, raza a sau r_0, măsurîndu-se rezistența R între extremitățile pieselor de contact.

În tabela 1 se dau cîteva dispozitive schematice de contacte cu valoarea rezistenței de stricțiune respectivă, calculată prin integrare, plecînd de la un element diferențial ca mai sus.

Este de observat că rezistența de stricțiune se calculează după aceleași metode analitice ca și capacitatea electrostatică, astfel încît se pot utiliza pentru calcul formulele corespunzătoare. Dacă două suprafețe S_1 și S_2 au în vid o capacitate electrică de valoarea C, rezistența de stricțiune între aceste două suprafețe într-un material de rezistivitate ρ este dată de formula:

$$R = \frac{\rho}{4\pi\, C}.$$

18. Rezistența de contact în funcție de presiune. Din teoria de mai sus rezultă că rezistența electrică de contact între două sfere se poate exprima cu ajutorul relațiilor: $s = \pi a^2 = F/\sigma$ și $R = \rho/2a$, rezultînd:

$$R = \frac{\rho}{2}\sqrt{\frac{\pi\sigma}{F}},$$

relație verificată experimental. Se dau practic următoarele valori pentru contacte punctiforme:

$$R = \text{const.}\; F^{-\frac{1}{3}}, \text{ în cazul } p < p_{\text{elastic}};$$

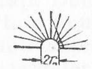
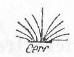
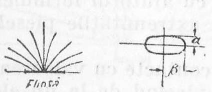
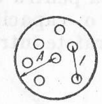
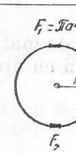
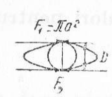
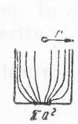
$$R = \text{const.}\; F^{-\frac{1}{2}}, \text{ în cazul } p > p_{\text{elastic}}.$$

Pentru contacte cu suprafață mare, C o n t i u s a stabilit formula generală:

$$R = C\, F^{-n},$$

în care, pentru plăcile polisate, $n = 2$, iar pentru plăcile normale, $n = 1$.

Tabela 1. Rezistența de stricțiune

Nr.	Schema	Formula	Observații
1		$R = \dfrac{\rho}{2\pi r_0}$	Semisferă
2		$R = \dfrac{\rho}{4a}$	$a = \dfrac{\pi}{2}\ r_0$
3		$R = \dfrac{\rho}{4a}\, f(\gamma)$	$\alpha = \gamma a$ $\beta = a/\gamma$ $f(\gamma)$ din fig. 4
		$R = \dfrac{\rho}{4\pi a} \ln \dfrac{4\alpha}{\beta}$	$\alpha > 10$
4		$R = \dfrac{\rho}{4A} + \dfrac{\rho}{4\,na}\left[1 - \dfrac{2a}{l}\right]$	πa^2 suprafața microscopică πA^2 suprafața macroscopică
5		$R = \dfrac{\rho}{4a}\left[1 - \dfrac{a}{\pi r}\right]$	R între F_1 și F_2 $r \gg a$
6		$R = \dfrac{\rho}{2a}\left[1 - \dfrac{2 \ln 2}{\pi}\ \dfrac{a}{D}\right]$	R între F_1 și F_2
7		$R = \dfrac{\rho}{4a}\left[1 - 1{,}6\ \dfrac{a}{r}\right]$	Se adaugă la rezistența cilindrului

Din aceste cercetări rezultă că rolul presiunii de contact este foarte important, rezistența variind invers proporțional cu o putere a acesteia; pentru a obține o rezistență mică de contact, trebuie să fie mărită presiunea și nu suprafața de contact.

Pentru contacte ideale, practic pur metalice (avînd doar pături monomoleculare gazoase în contact), relația dintre forța de apăsare și rezistență este reprezentată după H o l m în fig. 5.

Din caza impurităților existente între contacte și din cauza inegalității suprafețelor microscopice de atingere, se contează practic la contactele tehnice pe rezistențe de 10 ori mai mari decît cele rezultate din diagramă.

La contacte impure variază însă nu numai valoarea exponentului forței de apăsare din formulele de mai sus, ci și valoarea constantei. În literatura tehnică se indică diferite valori ale acestor parametri în funcție de material, de forma contactelor etc.

După A. I. B u i l o v, pînă la forțe de apăsare de circa 25 kg se poate lucra cu valorile cuprinse în tabela 2 a parametrilor din formula de mai sus.

Tabela 2. Rezistența contactelor de diferite forme geometrice

Forma contactelor	C	n
plan/plan	$0{,}9 \cdot 10^{-4}$	1
sferă/plan	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	1/2
sferă/sferă	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$	1/2
vîrf/plan	$1{,}75 \cdot 10^{-4}$	1/2
perie/plan	$1{,}36 \cdot 10^{-4}$	1

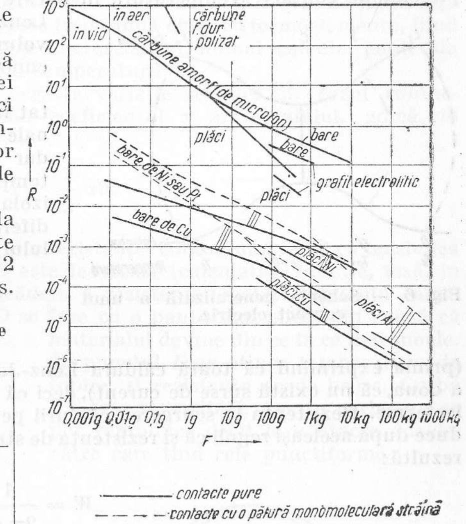


Fig. 5. — Rezistența contactelor ideale în funcție de presiune după H o l m.

Liniile pline se referă la contacte pur metalice. Prin pătura monomoleculară rezistența se ridică la liniile întrerupte corespunzătoare.

La presiuni foarte mari, aceste valori se modifică, dar nu esențial. Astfel, la o apăsare de 300 kg, rezistența contactului plan/plan are, după B u i l o v, parametrii: $C = 1{,}18$ și $n = 0{,}95$.

Pentru calculele de proiectare a contactelor, este indicat totuși să se considere valorile rezistențelor, astfel obținute, ca limite inferioare care se ating numai în condiții favorabile, în ce privește calitatea materialului și mai ales puritatea și forma suprafețelor în contact.

Pentru alte materiale de contact, valorile rezistenței se obțin, după B u i l o v, cu ajutorul următoarelor rapoarte:

Material	Cu/Cu	Cu/Alamă	Cu/Al	Cu/Fe	Al/Al	Fe/Fe
$\dfrac{R}{R_{Cu}}$	1	1,8 – 2,5	1,3	7	1,5 – 2,5	33

În contactele din circuitele de telecomunicații, apăsarea poate să fie de ordinul gramelor sau al fracțiunilor de gram, fără a influența calitatea circuitelor și mane-

vrarea contactului. În instalațiile electrice de energie se preferă însă forțe de apăsare de ordinul kilogramelor, și mai mari. În întreruptoarele de înaltă tensiune și de mare putere, forța de apăsare este de ordinul de mărime al sutelor de kilograme. Această apăsare puternică, care dă contacte de stricțiune cu rezistență foarte mică, produce și o curățire de impurități a suprafețelor metalice de contact prin mișcările de frecare sub presiune, la închiderea și la deschiderea contactelor.

19. **Încălzirea contactelor.** Într-un contact metalic, suprafața microscopică de contact nu este o sursă de căldură, ci sursele sînt repartizate în însuși corpul pieselor de contact. Temperatura în fiecare punct se poate calcula din legea lui Lenz-Joule valabilă pentru elementul de volum respectiv. Intensitatea se obține din cunoașterea repartizării potențialului.

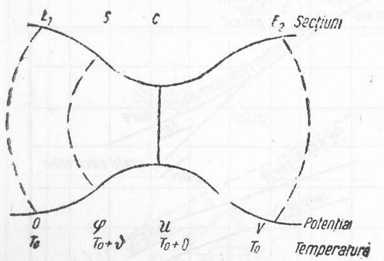


Fig. 6. — Schema generalizată a unui contact electric.

Schematizînd contactul în felul arătat în fig. 6, rezultă că suprafețele terminale E_1 și E_2 sînt nu numai echipotențiale, dar și isoterme. Dacă le presupunem la temperatura $\vartheta = 0$, iar corpul contactelor, izolat termic pe celelalte părți, din ecuațiile diferențiale ale stării staționare a potențialului φ și a temperaturii ϑ, rezultă:

$$c\,(\nabla\varphi)^2 + \operatorname{div}\,(\lambda\Delta\vartheta) = 0,$$

$$\operatorname{div}\,(c\,\nabla\varphi) = 0,$$

(prima exprimînd că toată căldura Lenz-Joule se disipă prin conductivitate, iar a doua, că nu există surse de curent), deci că toate suprafețele echipotențiale sînt și isoterme. Rezistența la scurgerea căldurii pe care o opune corpul contactului se deduce după aceleași reguli ca și rezistența de stricțiune. În cazul contactului semisferic, rezultă:

$$W = \frac{1}{2\pi\,a\lambda},$$

unde λ este conductivitatea termică. Rezistența termică se deduce din cea electrică cu ajutorul formulei:

$$W = \frac{1}{2}\,\frac{R}{\rho\lambda}.$$

Fluxul de căldură este dat în fiecare punct și în întreg corpul de contact, de legea lui Lenz-Joule. Înmulțind fluxul cu rezistența termică și integrînd asupra întregului semispațiu, se obține următoarea expresie pentru temperatura staționară în suprafața de contact:

$$\theta = \frac{U^2}{8\rho\lambda}.$$

Temperatura maximă depinde deci numai de căderea de tensiune în contact și este independentă de datele geometrice (forma contactului). Aici s-a presupus că rezistența electrică și conductivitatea termică nu depind de temperatură. Cînd este însă necesar să se țină seamă de această dependență, calculele devin mai complicate.

20. **Variația cu temperatura, a proprietăților materialului.** Rezistența de contact datorindu-se numai stricțiunii liniilor de curent (existenței suprafețelor de contact microscopice), rezultă că rezistivitatea în regiunea de contact este cea a

materialului respectiv. Aceasta este însă o funcție de temperatură, funcție care în forma ei cea mai simplă (corectă numai la diferențe mici de temperatură), se exprimă linear prin:

$$\rho_\alpha = \rho_0\,(1 + \alpha\,\vartheta);\ \begin{cases} \alpha > 0 \text{ la metale;} \\ \alpha < 0 \text{ la cărbune.} \end{cases}$$

Pentru temperaturi înalte, α este el însuși funcție de temperatură, și variația acesteia nu mai este lineară. Deoarece temperatura contactului este destul de mare față de cea a conductorului, iar măsurarea ei este imposibilă chiar cu termoelemente, fiind vorba de valori în puncte izolate (suprafețe microscopice), numai calculul poate da variația rezistivității în funcție de cea a temperaturii.

După un calcul al lui H o l m această variație se face, în cazul contactelor, cu un coeficient α' egal cu 2/3 din coeficientul α al metalului, adică, în contacte există raportul:

$$\frac{R_\alpha}{R_0} = 1 + \frac{2}{3}\,\alpha\vartheta.$$

În fig. 7 se văd curbele de variație a rezistenței contactului ideal cu tensiunea și, implicit, cu temperatura. Curba AB este teoretică (calculată). Practic, însă, în punctul C apare o cedare bruscă, o scădere a rezistenței materialului din cauza încălzirii, iar creșterea către punctul D se face cu o pantă mai mică, din cauză că materialul devine din ce în ce mai moale. În punctul D se atinge temperatura de topire, și rezistența scade brusc. Curba FE este reversibilă. Aceste curbe nu se pot reproduce decît la contacte ideale, către care tind cele punctiforme.

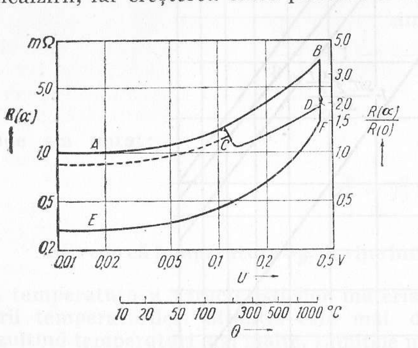


Fig. 7. — Variația rezistenței de contact cu tensiunea și temperatura contactului (Cu/Cu) după H o l m.

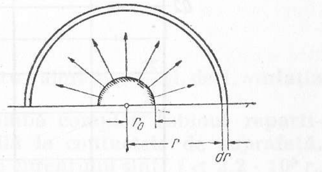


Fig. 8. — Calculul încălzirii contactului sferic.

21. **Repartizarea staționară a temperaturii,** în jurul păturii de contact, a fost studiată considerînd caracteristicele de material independente și variabile cu temperatura. Pentru contacte punctiforme, înlocuite cu sfere echivalente, în starea staționară și cu parametri de material independenți, (fig. 8) calculul se face după A. A v r a m e s c u în felul următor.

Debitul de căldură produsă în fiecare element de volum este:

$$\frac{dQ}{dV\,dt} = q_1 = \frac{I^2\,dR}{dV} = \frac{I^2}{S\,dr}\cdot\frac{\rho\,dr}{S} = j^2\,\rho$$

și trebuie condus spre exterior, către zona cu temperatură mai joasă.

Acest debit de căldură trebuie deplasat prin conductivitate, deci el trebuie să fie egal cu:

$$q_2 = \lambda \operatorname{div} \operatorname{grad} \vartheta = \lambda \Delta \vartheta.$$

În cazul contactului sferic, expresia Δ (operatorul lui Laplace) este:

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial}{\partial r}.$$

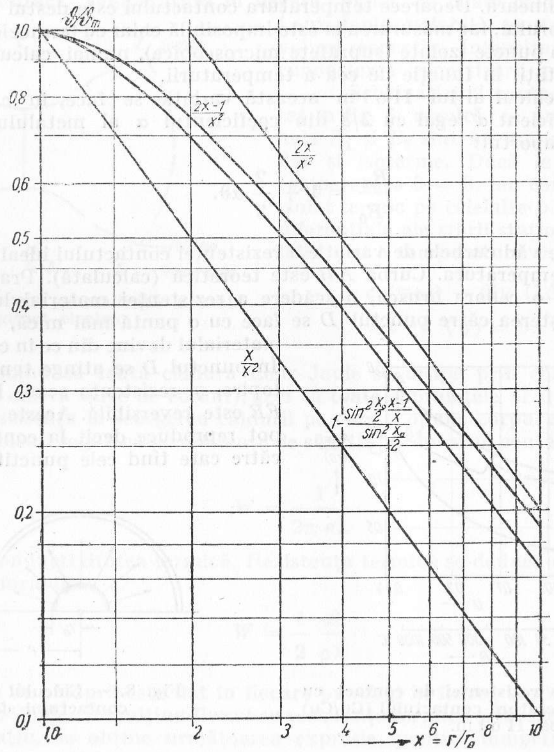


Fig. 9. Repartizarea staționară a temperaturii în contacte sferice după A v r a m e s c u.

Cu substituțiile $x = r/r_0$ și $u = x\,\vartheta$ și punînd $q_1 = q_2$, ecuația devine:

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = j_0^2 r_0^2 \frac{\rho}{\lambda} \frac{1}{x^3}.$$

Rezolvînd această ecuație în condițiile de limită $du/dx = 0$ la $x = 1$ și $u = 0$ la $x = \infty$, rezultă (fig. 9.):

$$\vartheta = \frac{j_0^2 r_0^2 \rho}{2\lambda} \frac{2x - 1}{x^2}.$$

Temperatura maximă în pătura de contact ajunge la valoarea staționară finită:

$$\vartheta_m = \frac{j_0^2 r_0^2 \rho}{2\lambda}.$$

După A. A v r a m e s c u se poate lua în considerație variația cu temperatura caracteristicilor de material, punînd:

$$\frac{\rho}{\lambda} = \frac{\rho_0}{\lambda_0}(1 + \varepsilon\,\vartheta)$$

($\varepsilon = 0{,}0048$ pentru Cu și $0{,}0041$ pentru Al).

Cîmpul de temperaturi staționare este dat de:

$$\vartheta = \frac{1}{\varepsilon}\left(\cos\frac{x_0}{x} + \operatorname{tg} x_0 \sin\frac{x_0}{x} - 1\right),$$

iar cea maximă, în pătura de contact, devine:

$$\vartheta_m = \frac{1}{x_0}(\sec x_0 - 1).$$

Deci:

$$\frac{\vartheta}{\vartheta_m} = 1 - \frac{\sin^2 \frac{x_0}{2}\, \frac{x-1}{x}}{\sin^2 \frac{x_0}{2}},$$

unde s-a notat:

$$x_0^2 = j_0^2 r_0^2 \varepsilon \frac{\rho_0}{\lambda_0}.$$

Se vede că temperatura ϑ_m devine infinită pentru valori $x_0 \to \frac{\pi}{2}$ și, deci, variația cu temperatura a caracteristicilor materialului schimbă complet tabloul repartizării temperaturilor. Situația este mai defavorabilă la contactele de suprafață, rezultînd temperaturi mai înalte. Limitele maxime ale curentului sînt: $I < 2{,}2 \cdot 10^5\, r_0$ pentru cupru și $I < 1{,}4 \cdot 10^5\, r_0$ pentru aluminiu (r_0 în cm).

22. Rezistența peliculară. Se pot realiza contacte metalice pure numai după încălzirea la roșu, în vid, a pieselor de contact. Suprafețele metalice în aer se acoperă la început cu un strat molecular de gaze, apoi cu straturi mai groase de oxizi și de alte corpuri străine. La o apăsare cu o forță suficient de mare, aceste straturi se deformează elastic și plastic, se deplasează, iar crusta superficială se sparge, dînd loc la o atingere metalică. În caz contrar, la rezistența de stricțiune se mai adaugă rezistența peliculară a stratului de corpuri străine. Această rezistență se poate calcula din formula:

$$R_P = \frac{\rho_2\, y}{\pi a^2}\ [\Omega],$$

în care: ρ_2 este rezistivitatea păturii străine;
y — grosimea peliculei.

Deoarece aceste mărimi sînt greu de măsurat, se pune $\psi = \rho_2\, y$. Totodată, din experienţele executate, rezultă pentru ψ valori de ordinul $5 \cdot 10^{-9}$ Ωcm^2, la contacte de cupru, în ambianţă normală.

Cu timpul, pe cupru se formează o pătură de Cu_2O, a cărei grosime creşte după observaţii, în funcţie de temperatura staţionară în contact, după formula:

$$y = 30\, e^{0{,}0130\theta} \sqrt{t} + 30 \qquad [Å]\ ^{*)},$$

unde timpul t se introduce în ore. Stratul de Cu_2O avînd o conductibilitate mult redusă, contactele de Cu nu sînt recomandabile la tensiuni şi la presiuni joase (aparate de măsură şi de telecomunicaţii).

Pe suprafeţele de aluminiu se formează, în scurt timp, o pătură subţire $y = 20...25$ Å) de AlO_3 rău conducător, care însă nu mai creşte în continuare decît puţin, dînd astfel, la presiuni nu prea joase, contacte relativ bune. În schimb, această pătură se extinde considerabil la contactul cu un alt metal, de exemplu cu cupru.

Argintul este cel mai bun metal pentru contacte, deoarece oxidul său este bun conducător şi se formează numai în pături foarte subţiri.

Există o diferenţă principială între păturile străine subţiri, formate, de cele mai multe ori dintr-un strat de molecule de oxigen, şi păturile mai groase de oxizi metalici. La primele, rezistivitatea nu depinde de temperatură, pe cînd la ultimele, dependenţa este mult mai accentuată decît la metalul respectiv. Cercetări minuţioase (Holm) au dovedit că, prin păturile moleculare de gaze, conductivitatea este asigurată prin aşa numitul *efect tunel*, rezultînd o rezistenţă suplimentară, care, la temperaturi normale, este neglijabilă, în comparaţie cu rezistenţa de stricţiune. Efectul tunel explică faptul că unii electroni din cuprul metalic pot să treacă pragul (bariera) de potenţial superficial, fără a avea energia cinetică medie necesară, prin faptul că există o probabilitate finită ca aceşti electroni să treacă bariera. La distanţe moleculare între doi buni conductori, bariera de potenţial poate să fie trecută destul de uşor de electroni, astfel încît rezistenţa care rezultă din efectul tunel nu este prea mare.

O evaluare a rezistenţei electrice care corespunde efectului tunel se poate face după o formulă publicată de savantul sovietic I. Frenkel, în funcţie de grosimea păturii izolante, rezultînd:

pentru	$y = 2$	3	5	6	7	Å
	$\psi = 1{,}2$	13	1600	17000	200 000	$10^{-9}\ \Omega\, cm^2$

Păturile monoatomice de oxigen, totdeauna prezente pe suprafaţa metalelor, au grosimi de 2 ... 3 Å, iar cele monomoleculare au grosimi de 6 ... 7 Å, ceea ce măreşte considerabil rezistenţa.

La pături mult mai groase, conductivitatea propriu zisă are un rol mult mai mare. Totuşi, la sarcini mari de curent şi la încălziri peste o limită anumită a păturii respective, apare o scădere bruscă a rezistenţei. Fenomenul este similar celui din coherorul lui Branly şi constă în stabilirea unor punţi metalice prin coagularea, prin conglomerarea şi, parţial, prin topirea oxizilor în anumite puncte ale suprafeţei de contact. Coherarea are loc la o anumită temperatură, adică la o cădere de tensiune limită, care depinde de natura oxidului şi de grosimea păturii respective.

*) Å: un Angström = 10^{-7} mm.

Spre a concretiza efectele oxidării contactelor, s-au efectuat în laboratoarele de cercetări din URSS măsurători extinse asupra unor contacte pure, lăsate în aer liber, înregistrîndu-se pentru presiuni nu prea mari rezultatele cuprinse în tabela 3.

Tabela 3. Mărirea rezistenţei de contact prin oxidare

Materialul contactului	Durata oxidării la 70°C, în zile	Mărirea rezistenţei de contact	Materialul contactului	Durata oxidării la 70°C, în zile	Mărirea rezistenţei de contact
Cu/Cu	36	de 15 000 ori	Al/alamă	58	de 160 ori
Cu/alamă ..	38	» 1 765 »	Alamă/alamă ..	46	» 820 »
Cu/Al	41	» 1 290 »	Fe/Fe	57,5	» 900 »
Al/Al	54	» 70 »			

La contacte închise, se observă un efect mult mai redus al oxidării. Dealtfel apăsarea cu forţe suficient de mari distruge, cel puţin parţial, pelicula de oxizi, creînd suprafeţe de atingere metalică.

Pentru a evita formarea de pături mai groase de oxizi, se obişnuieşte să se acopere contactele cu o pătură de metal, care se comportă în mod favorabil, în contacte. Astfel, pe contactele de cupru se sudează o tolă subţire de argint, ceea ce dă contactele cele mai bune realizabile în prezent, sau se cositoresc suprafeţele de cupru, rezultînd contacte cu o rezistenţă specifică mai mare, dar care nu se mai oxidează. Contactele de aluminiu se tratează mai greu. Acest metal se pretează, în general, numai la contacte fixe, în care presiunea poate fi menţinută constantă. Pentru a obţine contacte bune în permanenţă, suprafaţa de atingere se curăţă în prealabil cu o perie de fire de oţel sau cu suflaj de nisip, apoi se unge şi se strînge imediat, cu intercalarea de elemente elastice sub şuruburi sau butoane. Contactele care trebuie să reziste la acţiunea termică a piciorului de arc (contacte de stingere), se acoperă cu wolfram.

23. **Comportarea contactelor.** Cunoscînd comportarea mecanică şi chimică a materialelor, se pot alege acele metale şi aliaje care asigură soluţii tehnice satisfăcătoare, în funcţie de condiţiile impuse de cerinţele exploatării. Pentru a uşura această alegere se dau, în tabela 4, datele caracteristice ale diferitelor metale chimic pure, cum şi a unor aliaje, şi, în fine, ale cărbunelui. Introducînd aceste valori în formulele teoretice de mai sus se pot obţine informaţii preţioase referitoare la comportarea diferitelor materiale în contacte.

O comparaţie a caracteristicilor şi a comportării diferitelor metale şi aliaje speciale folosite la contacte electrice, este dată în tabela 5, care se referă la avantajele şi la desavantajele materialelor de contacte, cum şi la costul lor relativ; tabela 5 la un loc cu tabela 6 permit o alegere justă a materialului de contact cel mai potrivit. Tabela 6 conţine cifre comparative privind comportarea diferitelor materiale de contact, în regim permanent, uzura la arcuri şi tendinţa de sudură.

e) Construcţia contactelor

24. **Principii pentru dimensionarea contactelor fixe.** Din cele expuse mai sus rezultă că rezistenţa electrică a unui contact depinde în mică măsură de mărimea sau de felul suprafeţei macroscopice de contact şi, în mare măsură, de presiunea sub care piesele de contact sînt apăsate una asupra celeilalte. Prin mărirea suprafeţei se obţin puncte de contact în plus; dar noile puncte devin eficace numai

Tabela 4. Caracteristicile fizice ale materialelor de contact

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Material	Calitate	Densitate γ	Rezistivitate la 18°C ρ	Coeficient de temperatură 0–100°C α	Conductivitate termică λ (18°C)	Coeficient de temperatură β	$(\rho\lambda)$ la 18°C	Modulul de elasticitate E	Duritate σ	Temperatura de cedare	Tensiunea de cedare	Temperatura de topire	Tensiunea de topire	Capacitate de căldură c
		g/cm³	μ Ω/cm	$10^{-3} \times \frac{1}{°C}$	$\frac{W}{cm°C}$	$10^{-4} \times \frac{1}{°C}$	$10^{-6}\ \frac{W}{°C}$	$10^{-5}\ \frac{kgf}{cm^2}$	t/cm²	°C	V	°C	V	J/cm³
Al	pur industr.	2,7	2,7 2,82 3,3	4,3 3,7	2,1	−1,1	5,7 7,0	7	1,5—8	150	0,1	658	0,3	2,4
Cr	»	7	20	2	(0,45)	—	(9)	—	13	—	—	1 800	—	3,0
Fe	»	7,9 7,7	5 9	6,5 7	0,73 0,59	−9,9 −3,88	3,7 5,3	20	6	500	0,21	1 530	0.60	3,6
Ni	»	8,8	7 9	6,2 4	0,91 0,58	−11,5	6,4 5,2	20	7—22	520	0,22	1 455	0,65	3,9
Cu	»	8,9	1,73 1,78	4,25 4	3,9 3,8	−0,2	6,7	11	3,5—5	190	0,12	1 083	0,43	3,4
Zn	»	7,1	6,0 6,3	4 3,5	1,1	−2,56	6,6 6,9	9	3—6	170	0,1	419	0,17	2,7
Mo	»	10	4,2 5,8	4,3 44	1,38 0,99	−0,3	5,8 5,7	30	12—17	900	(0,3)	2 600	0,9	2,6
Ag		10,5	1,65	4	4,18	−0,49	6,9	7	2,6—6	150—200	0,09	960	0,35	2,4
Cd	pur industr.	8,6	7,3 7,7	4,2 4,1	0,92	−1,22	6,7	6	2	—	—	321	0,15	2,0
Sn	»	7,3	11 12	4,5	0,64	−10 4,7	7,0 7,7	5	0,45—0,6	100	0,07	232	0,13	1,6
Sb	»	6,6	39 42	4,7	0,17	−8,4	6,6 7,1	—	1—3	—	0,2	630	0,3	1,4
Ta	»	16,6	12 16	3,3 3,0	0,54	−1,1	6,5 8,7	19	5—35	700—1 000	0,3	2 900	1,0	2,5
W	»	19,1	5,6 7	4,9	1,64 1,4	−9,15	9,2 10	38	12,5—37	1 000	0,4	3 380	1,0	2,6
Pt	»	21,4	10,6 13,5	3,9 3,0	0,70	+1,95 +5	7,4 9,5	13	5—8	540	0,25	1 773	0,70	2,8
Au	pur recopt	19,3	2,3	4	3,1	0	7,1	8	5,3—7,5 1,3	100	0,08	1 063	0,5	2,5
Pb		11,3	21	4,1	0,35	−5	7,4	1,5	0,9	200	0,12	327	0,19	1,5
Bi		9,8	120	4,54	0,08	−14	9,6	3,2	0,4—1,0	—	—	271	0,18	1,2
Oțel C1	dur	7,8	22	3	0,43	—	9,5	21	9—50	—	—	—	—	3,7
Oțel V2A		7,9	70	—	0,17	—	12	20	16	—	0,27	1 400	0,55	3,9
Alamă (40% Zn)		8,4	8,5	1,5	0,9	—	8	10	10	—	(0,2)	900	—	3,2
Bronz (10% Sn)		8,7	18	0,5	0,5	—	9	11	7	—	0,15	(950)	—	3,0
Bronz-Be	călit înnobilat	8,2	10 6	—	1,1 1,7	— —	11 10	12 13	11 35	—	0,2	—	—	(3,1)
Constantan		8,8	50	0,05	0,22	—	11	17	—	—	—	—	—	4,6
Ag+30% Pd		10,9	16	0,35	—	—	—	—	8	—	—	1 200	—	—
Ag+10% Au		11,3	3,5	2	(2,6)	—	(9)	—	—	—	—	—	—	2,5
Pt+8% Ni		19	27	1,6	0,36	—	10	—	16	—	—	1 700	0,7	—
Pt+20% Ir		21,5	32	0,7	0,4	—	13	—	20	—	—	1 850	—	2,8
Widia	WC; Co	14,7	20	—	0,8	—	16	62	180	$>$1 000	0,6	$>$2 000	—	3,0
Widia	WC; TiC; Co	11,1	43	—	0,38	—	16	54	200	$>$1 000	0,6	$>$2 000	—	3,0
Cărbune de retortă		1,6	8 000	−0,3	0,02	+5	160	0,6	3,5	—	(2)	4 700	(5)	1 la 20°C
Electrografit		1,6	750	−1,3	1,3	−10	1 000	—	(1,2)	—	—	—	—	2,4 la 400°C
Perie dură din electrografit		1.6	4 000	−1	0,4	−5	1 600	0.9	2	—	—	4 700	(5)	3,0 la 900°C

Tabela 5. Comparația diferitelor materiale speciale întrebuințate pentru contacte electrice

Nr. crt.	Material	Întrebuințarea	Avantaje	Desavantaje	Precauții	Cost față de Ag=1	Observații
1	Argint 1000 p	Nituri de contact, mai ales la curenți și la tensiuni mici	Bun conducător Pătură de oxid foarte subțire Se poate aplica în plăci subțiri pe Cu	Relativ moale Mai scump decît Cu Greu de sudat Sensibil față de sulf Sensibil la efectele arcului	Devine mai dur prin ciocănire A se suda repede	1	
2	Aliaje de argint cu paladiu ...	Idem	Mai dure decît Ag Rezistența față de sulf și oxidări	Scumpe Greu de uzinat Greu de sudat	A se suda repede	22 32	Pa 30% Pa 50%
3	Cupru electrolitic	Generală, mai ales la curenți mari	Superior argintului ca duritate, suportă presiuni mari de contact fără să cedeze Bun conducător de căldură și de electricitate	Se acoperă cu o pătură de oxid izolant, care crește cu timpul	Să se curețe și să se controleze contactele. A se îngriji de o presiune mare în contact	0,2	
4	Aur și aliaje	Rară la tensiuni foarte mici	Mai rezistent chimic decît Ag Bun conducător	Relativ moale Mai scump decît Ag	A se feri de S	30	10–20% Aliaj
5	Platină	Rară	Duritatea, mai ales a aliajelor. Rămîne pur	Rău conducător termic și electric. Foarte scumpă	A se supraveghia întreținerea	130	Iridiu
6	Osmiridiu .	Rară	Foarte dur și rezistent	Foarte scump	A se supraveghia întreținerea	250	Aliaj Os–Ir 1 : 1
7	Wolfram ..	La contacte de arc	Punct de topire înalt, deci rezistent la arcuri. Duritate mare. Înlocuește Pt și Ir	Foarte greu de uzinat și de sudat (numai cu mașina) Oxidabil	A se aplica presiuni mari pentru a distruge păturile de oxid		Un aliaj cu 40% Mo, are proprietăți favorabile (sudabil)
8	Molibden...	Contacte de arc în vid	Similare cu Wo	Se oxidează ușor	A se feri de oxigen		

dacă presiunea în ele este suficient de mare. În sensul unei analogii cu legăturile mecanice, trebuie preferată legătura între bare prin mai multe buloane mai mici, decît cu puține buloane mari. Dar mărirea suprafeței de contact nu atrage după sine o scădere proporțională a rezistenței de contact.

În plus, trebuie preferată mărirea presiunii de contact care, pe lîngă scăderea rezistenței electrice (v. fig. 5), asigură o curățire automată a contactelor intermitente, prin distrugerea peliculelor de oxizi și de impurități la manevrarea contactului.

Totuși, odată cu creșterea curentului, trebuie mărită și suprafața de contact, pentru a putea elimina mai ușor căldura produsă în contact prin efect Joule.

La dimensionarea unui contact, se pleacă, în general, de la o limită admisibilă a supratemperaturii în suprafețele de contact și care a fost fixată, după experiențele efectuate cu contactele de mare suprafață, la 35°C. Din cercetări mai recente a rezultat că, în contacte punctiforme, între piese masive de contact se poate admite o temperatură de 100 ... 150°C, fără a scădea în timp calitatea contactului. În consecință, pentru astfel de contacte s-a fixat ca limită de încălzire 70°C, ceeace contribuie mult la reducerea materialului activ în întreruptoare și, în general, în aparatele electrice.

Calculul dimensiunilor unui contact fix se face plecînd de la această limită de temperatură și calculînd într-o primă aproximație, rezistența de contact din formula generală

$$R = \frac{1}{I}\sqrt{8\lambda\rho\theta},$$

în funcție de curentul I de regim și de raportul conductivității de căldură și de electricitate $\lambda\rho$, care este dat, pentru diferite materiale de contact, în tabela 4, col. 8. Această formulă, care este valabilă pentru contacte pure, se poate aplica cu aproximație la contacte de mare presiune, deoarece în acestea se realizează aproape totdeauna un contact metalic prin dislocarea păturilor de oxizi și impurități. Rezistența de contact R care rezultă astfel, se realizează în contactele ideale (punctiforme), prin aplicarea unei presiuni care se obține din diagrama fig. 5. Presiunea reală se alege de cel puțin 10 ori mai mare decît cea care rezultă din diagramă pentru a ține seamă de impurități, oxizi în contact, din cauza imperfecțiunii montajului și, mai ales, de faptul că un contact fix lucrează și suportă în exploatare mici deplasări, în urma variațiilor inevitabile de temperatură.

Un calcul mai exact trebuie să pornească de la ecuațiile diferențiale indicate mai sus, care prezintă balanța termică a pieselor de contact. Acest calcul teoretic trebuie să dea valori mai precise, dar de același ordin de mărime ca formula aproximativă de mai sus.

Foarte important este ca piesele de contact să fie suficient de masive pentru a putea prelua, conduce și pierde căldura care se produce în suprafața de atingere. Calculul mișcării căldurii se poate face destul de ușor pentru starea de regim.

Calcule de felul acesta se impun mai ales la proiectarea unui aparat nou. În majoritatea cazurilor însă contactele se dimensionează după criterii date de experiență. Rezultatele care se pot sconta pentru exploatare depind astfel de această experiență practică.

Dacă principiul încălzirii este cel mai important pentru contactele fixe, pentru cele mobile și intermitente mai intervin și alte criterii de dimensionare. Astfel se pot cita: rezistența față de efectele scînteilor și ale arcurilor care se produc la întreruperi, dirijarea mișcării piciorului de arc pe suprafețele piesei de contact și în întreruptor etc. Asupra acestor criterii se va reveni la sfîrșitul capitolului despre apariția și stingerea arcului între contacte la întreruptoare.

Tabela 6. Contacte pentru aparate de conectare de joasă tensiune

Denumirea	Compoziție	Prelucrare	Duritate Brinell kgf/mm²	Conductivitate electrică S/cm 10⁴	Greutate specifică g/cm³	Punct de topire °C	Punct de evaporare °C	Comportarea în serviciu						Domeniu de aplicare
								Rezistență de contact		Uzură la arc		Rezistență la sudură		
									Cifra de comparație Cu = 1		Cifra de comparație Cu = 1		Cifra de comparație Cu = 1	
Cupru	100% Cu	Trefilat Presat	50–100	57	8,92	1 084	2 595	Degradare prin oxidație, temperatură limita 105°C	1			Depinde de presiunea de contact și de viteza de deplasare	1	Contacte normale de întrerupere
								nepotrivit pentru regim permanent	crește la 10					
Cupru-Beriliu	99% Cu 1 % Be	Turnat	80–100	50				Ca la Cu pur	1	Ca la Cu pur	1	Ca la Cu pur	1	Pentru curenți mari
Argint	100% Ag	1 000 Ag pur	60	60	10,5	960,5	2 170	Nu se oxidează	1/6–1/4	Uzură diferită la declanșare și la anclanșare, funcție de curent *a)* Uzură anclanșare 200 A 500 A *b)* Uzură declanșare 200 A 400 A 500 A	 1 5 0,1 0,5 1	Ca la Cu	0,7–0,9	Contacte permanente. Contacte de comandă la tensiuni reduse
Argint-Cadmiu	85% Ag 15% Cd		65	40				Ca Ag	1/6–1/4	Circa de trei ori ca la Ag pur	0,3–15			
Wolfram	100% Wo	Trefilat		18	19,1	3 380	6 000	Foarte mare	30	Mică	0,1–0,2	Mare		Contacte de arc, solicitări mari
Molibden	100% Mo	Ca la Wo		17,6	10,2	2 622	4 800		10	Ca la Wo		Ca la Wo		Idem
Cărbune Grafit	100% C	Diferită după scop						Rezistența de contact și uzura la arc invers proporționale				Nu se sudează		Contacte care nu se sudează. Contacte de fine de cursă
MATERIALE SINTERIZATE														
Argint	60% Ag	Sinterizat și presat	60–80	32				Între Ag și Cu oxidația redusă	0,5–1	Ca la Cu	1	Ca la Cu	1	Contacte normale la pericol de oxidare a contactelor de Cu
Argint-Molibden	75%Ag 25%Mo							Puțin mai bun decît Ag–Ni	1/2–1/3	Mai mare decît la Cu și Ag–Ni	2,5	Ca la Cu	1	Speciale
	60% Ag 40% Mo													
Argint-Molibden	95% Ag 5% C	Presat						Ca la Ag	1/2–1/4	Mare	15–25	Nu se sudează		Speciale
Cupru-Molibden									11–7		0,1			Speciale
Cupru-Wolfram									4–6		0,2		4,5	Speciale, cînd uzura și rezistența la sudură sînt depășite pentru Cu

25. **Contactele de racordare** sau bornele aparatelor sînt de diferite tipuri, după natura şi forma conductorilor circuitului exterior: conductori filiformi, bare rotunde, bare tubulare, bare dreptunghiulare şi fascicole de bare dreptunghiulare.

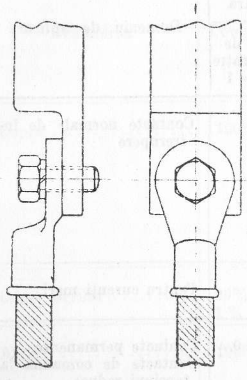


Fig. 10. — Contact între un papuc de cablu şi o bornă.

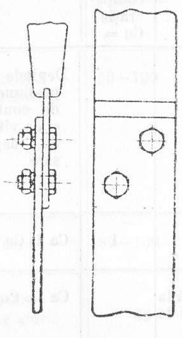


Fig. 11. — Contact fix între o bară şi o bornă de aparat.

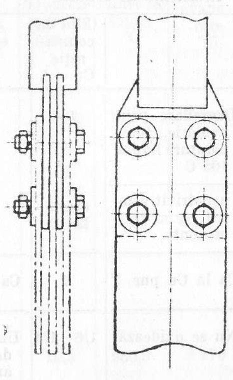


Fig. 12.— Contact tip pieptene ($I > 1$kA).

Conductorii filiformi sau masivi, rotunzi, din cabluri sau conducte izolate, se leagă la bornele aparatelor de obicei prin intermediul papucilor de cablu. Borna aparatului se pregăteşte în mod special pentru a primi papucul de cablu, iar presiunea se exercită prin şuruburi sau buloane (fig. 10).

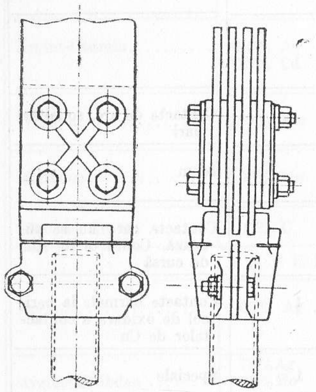


Fig. 13. — Racord de bară la tijă filetată ($I > 1$kA).

Aparatele cu curenţi nominali mari se racordează la circuite prin tuburi sau bare dreptunghiulare. Legăturile tuburilor se execută cu ajutorul unor cleme conice cu şurub, care strîng concentric tubul, pe un miez cilindric sau tubular.

Bornele pentru racordarea barelor dreptunghiulare sînt similare celor pentru papuci de cablu, dar se fac mai groase şi mai rezistente, iar fixarea se face, deobicei, cu mai multe buloane, pentru a asigura o presiune mare de contact (fig. 11).

În unele construcţii moderne, borna aparatului are trei proeminenţe de secţiune circulară, prin care se realizează contacte de mică suprafaţă şi de mare presiune. Din punctul de vedere al încălzirii, comportarea acestora la sarcini normale este în general mai favorabilă decît cea a contactelor de mare suprafaţă; în scurtcircuite puternice, contactul poate însă ceda, din care cauză buloanele trebuie să fie prevăzute cu rondele elastice.

La curenţi care depăşesc 1 kA se utilizează mai multe bare în paralel, formînd un fascicol de bare care se îmbină cu un contrafascicol corespondent de pe borna aparatului (fig. 12). Aceste contacte tip « pieptene » au o comportare favorabilă, dacă suprafeţele care intră în contact sînt bine ajustate.

Racordarea unor astfel de fascicole de bare la aparate cu tije de contact filetate se face prin piese de racord intermediare, care asigură, prin şuruburi sau buloane, un contact de mare presiune, atît cu barele, cît şi cu tija filetată (fig. 13).

Standardizarea acestor racorduri din punctul de vedere al tipului, al dimensiunilor exterioare, al găurilor de buloane etc., asigură racordarea fără dificultăţi a aparatelor la circuitele exterioare. În ce priveşte construcţia propriu zisă a bornelor şi a pieselor de contact, ele sînt supuse încă unei continue evoluţii tehnice.

26. **Contactele de întrerupere.** Dintre *contactele mobile*, cele *de întrerupere* a circuitelor sînt de cea mai mare importanţă pentru construcţia aparatelor electrice. În adevăr, contactele mobile cu alunecări sînt mai ales întîlnite în maşinile electrice pe cînd cele de întrerupere sînt proprii aparatelor de tot felul şi, mai ales, celor de manevră.

Principiile teoretice formulate în capitolul precedent se aplică în mod corespunzător la construcţia contactelor de întrerupere.

Cel mai simplu contact de întrerupere se deduce din construcţia întrerupătorului cu pîrghie şi este format, pe de o parte, dintr-un cuţit de contact, care, la închidere, alunecă în contactele arcuite ale furcii, adică a contactului fix respectiv şi este menţinut acolo sub presiunea unor arcuri. La construcţiile cele mai simple, efortul de arcuire se exercită de însăşi piesele de contact (fig. 14), ceea ce prezintă inconveniente, din cauză că suprafeţele de contact se supraîncălzesc, şi astfel, unori materialul îşi pierde proprietăţile elastice, cu timpul se deformează, şi piesele de contact cedează depărtîndu-se una de alta. Mărindu-se astfel rezistenţa de contact, încălzirea devine şi mai mare. În consecinţă, este mult mai favorabil ca efortul de presiune să se exercite de arcuri de cupru, de alamă sau de tombac separate, care nu sînt parcurse de curent.

Este de remarcat că piesele de contact cu arcuire, sînt deobicei confecţionate din tole subţiri de alamă, de cupru sau de tombac şi nu au o suficientă capacitate termică de a răci, prin acumulare de căldură în masa lor, pătura de contact. Din această cauză, astfel de contacte nu rezistă în exploatare decît pentru curenţi reduşi (sub 200 A nominal).

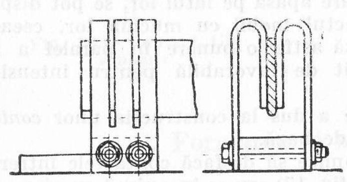


Fig. 14. — Contact de separator simplu, cu lame arcuite.

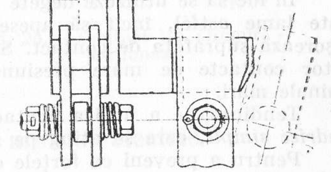


Fig. 15. — Contact de separator cu arcuri.

Din toate punctele de vedere, contactele masive cu arcuri separate, cum sînt cele reprezentate în fig. 15, sînt superioare celor menţionate mai sus; sînt însă corespunzător mai scumpe. Piesa mobilă (cuţitul) are deci două lame, care cuprind între ele piesa fixă masivă, de contact şi o presează cu o forţă mare. Suprafeţele de atingere ale contactului fix au o uşoară înclinaţie, care permite intrarea uşoară a cuţitelor în contacte, presiunea realizîndu-se progresiv.

Dacă piesele fixe de contact sînt uşor rotunjite, atingerea se face de-a lungul unei singure linii (contacte liniforme) cu o presiune specifică foarte mare. Aceste

contacte fiind şi masive, ele nu se supraîncălzesc şi se comportă favorabil în exploatare.

În locul buloanelor de strîngere cu arcuri din fig. 15 se folosesc *rondele de arcuire* de oţel special, care prezintă marele avantaj de a avea o dimensiune transversală mult mai redusă, permiţînd menţinerea distanţei obişnuite *d* între cuţitele de pe faze diferite, la separatoare.

La întreruptoarele cu putere de rupere se utilizează *contacte cu degete* pe partea fixă, legate de izolatoarele de trecere şi în care intră contactul mobil, avînd forma unei bare cu muchie ascuţită (fig. 16). Presiunea se exercită de arcuri spe-

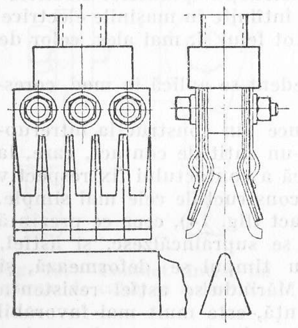


Fig. 16. Contact cu degete.

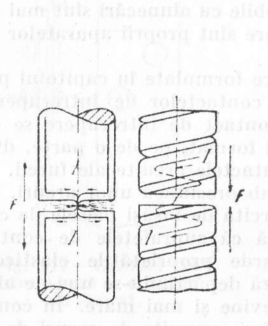


Fig. 17. — Contacte cilindrice masive simple şi solenoidale.

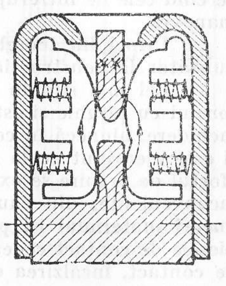


Fig.18.—Contact lamelar în care forţele electrodinamice măresc presiunea de contact.

ciale de oţel sau de tombac, iar piesele de contact se fac masive, pentru a avea o mai mare capacitate calorică. Unul dintre degete se face, de obicei, mai lung, şi serveşte la ruperea arcului electric. La revizii este suficient de obicei să se înlocuiască numai acest deget de contact, care se uzează din cauza arcurilor de rupere.

În loc să se utilizeze degete de lame care apasă pe latul lor, se pot dispune aceste lame astfel, încît să apese pe contactul mobil cu muchia lor, ceea ce micşorează suprafaţa de contact. Se realizează astfel o punere în paralel a mai multor contacte de mare presiune, deosebit de favorabilă pentru intensităţi nominale mari.

Tendinţa de a utiliza contacte masive a dus la construcţia unor *contacte cilindrice simple*, care se ating pe suprafaţa de bază.

Pentru a preveni ca forţele electrodinamice să desfacă contactele întreruptoarelor, *contactele cilindrice se fac solenoidale* (fig. 17) sau se înconjură cu piese speciale care canalizează curentul spre a mări presiunea în contact (fig. 18).

Odată cu desvoltarea camerelor de explozie (de stingere) în întreruptoarele cu ulei şi odată cu desvoltarea camerelor de expansiune în cele cu apă, s-au desvoltat contactele de tip «lalea» (sau « tulipă ») în care piese sub forma unor sectoare se presează prin arcuri pe contactul mobil cilindric. O dispoziţie de acest fel se arată în fig. 19.

Un rol suplimentar pe care pot să-l aibă contactele de întreruptoare la curenţii mari, este cel de a dirija, prin forţele electrodinamice care apar între căile de curent din contact şi din coloana arcului, piciorul arcului spre contacte sau vîrfuri de arc şi de a-l îndepărta de contactele principale. În acest scop, contactelor li se dă forma unor linguri cu o tăietură la mijloc şi apăsate una de cealaltă pe partea con-

cavă (fig. 20). Piciorul arcului este forţat de către efectul electrodinamic al curentului din contact şi din coloana arcului, să se deplaseze spre vîrful contactului. În tehnica sovietică, contactele se secţionează şi de două ori, cu rezultate favorabile asupra dirijării piciorului arcului şi fără ca încălzirea să depăşească, din această cauză, limitele admisibile [v. N. A. B a b i c o v : *Viestnic electropromişlenosti* (1948) 2, 23]. Efectul electrodinamic poate să fie în acest caz atît de puternic, încît se poate renunţa la alte mijloace de suflare magnetică a arcului, ceea ce simplifică mult construcţia întreruptoarelor. Astfel de contacte s-au utilizat şi la întreruptoare rapide de curent continuu de puteri mari, renunţîndu-se complet la suflajul magnetic separat, care înainte părea să fie indispensabil.

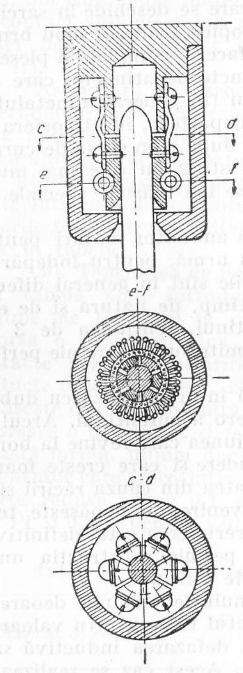


Fig. 19. — Contact tip « lalea »

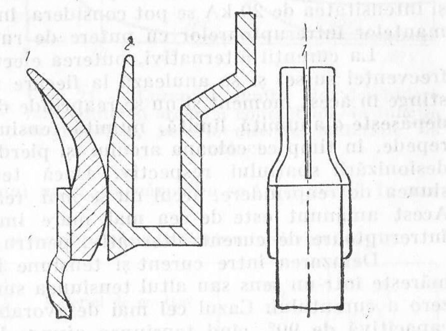


Fig. 20. — Contact tip « lingură », secţionat.

C. Formarea şi stingerea arcului electric

a) Generalităţi

27. Definiţia puterii de rupere. La stabilirea, la întreruperea sau la modificarea conexiunilor din circuitele electrice se manevrează, deobicei, contacte care se închid sau se deschid, comandate manual sau prin intermediul unor dispozitive de acţionare mecanice, pneumatice sau electromagnetice. Atît timp cît tensiunile şi curenţii în joc nu depăşesc anumite limite, manevrarea contactelor nu implică decît unele complicaţii de mică importanţă (vibraţii şi eroziuni), faţă de cazul contactelor permanente sau fixe. În schimb, cînd puterea în circuit creşte, intervin fenomene noi, care complică în mod considerabil manevra contactelor.

Din cercetări teoretice şi experimentale rezultă că *fenomenele electromagnetice* care se produc la deschiderea, cu o anumită viteză, a unor contacte electrice

depind, în principiu, și în mod cu totul general, *de intensitatea curentului înainte de deschidere și de tensiunea la bornele contactelor după deschidere.* În orice caz, dacă acești doi parametri sînt egali, fenomenele sînt egale la viteze de deschidere egale și mediu egal, indiferent de forma și de sistemul contactelor. Plecînd de la acești doi parametri, s-a ajuns la definirea unei « puteri » de rupere.

28. **Apariția arcului.** În contactul sub presiune, care se deschide în sarcină, presiunea și, în consecință, suprafața de contact microscopică scade în mod brusc. Dacă intensitatea se menține constantă la începutul desfacerii complete a pieselor de contact, apare o încălzire pronunțată a ultimelor puncte de atingere, care are ca urmare o topire și o evaporare parțială a materialului (în general, a metalului) din punctele respective. Îndată ce *contactele încep* să se depărteze, în atmosfera de vapori metalici se stabilește un arc electric sau o scînteie, după cum sursa de curent are sau nu un debit suficient de electroni. Scînteile se sting, în cele mai multe cazuri, singure, dar arcurile continuă să ardă, dacă nu se iau măsuri speciale de stingere a lor.

Apariția arcului electric la contacte impune luarea anumitor măsuri pentru evitarea efectelor dăunătoare ale acestuia și, în cele din urmă, pentru îndepărtarea și stingerea lui. Fenomenele și, în consecință, măsurile sînt în general diferite la curenți continui și alternativi, depinzînd, în același timp, de natura și de elementele circuitului electric respectiv. La curenții continui, tensiunea de 3 kV și intensitatea de 20 kA se pot considera, în prezent, ca limite superioare ale performanțelor întreruptoarelor cu putere de rupere.

La curenții alternativi, puterea electrică introdusă în arc variază cu dublul frecvenței sursei și se anulează la fiecare trecere prin zero a curentului. Arcul se stinge în acest moment și nu se reaprinde decît dacă tensiunea care revine la borne depășește o anumită limită, numită tensiune de reaprindere și care crește foarte repede, în timp ce coloana arcului își pierde conductivitatea din cauza răcirii și a desionizării spațiului respectiv. Dacă tensiunea de revenire nu depășește tensiunea de reaprindere, arcul nu se mai reaprinde, și întreruperea este definitivă. Acest amănunt este de cea mai mare importanță și a permis construcția unor întreruptoare de curent alternativ, pentru cele mai înalte tensiuni.

Defazarea între curent și tensiune influențează mult fenomenul, deoarece mărește într-un sens sau altul tensiunea sursei, în momentul trecerii prin valoarea zero a curentului. Cazul cel mai defavorabil intervine la defazarea inductivă sau capacitivă de 90°, cînd tensiunea ajunge la amplitudine. Acest caz se realizează la întreruperea unor transformatoare sau a unor linii lungi, în gol.

Energia calorică desvoltată în perioada de deschidere a întreruptorului se poate calcula din produsul intensității, al căderii de tensiune în arc și al duratei arcului. Solicitarea întreruptorului va fi cu atît mai mare, cu cît durata procesului de întrerupere va fi mai lungă.

b) Deschiderea contactelor fără scîntei

29. **Curentul limită.** Pentru orice întreruptor în aer, montat în circuite fără inductanță, există, la *tensiuni continue* care depășesc 250 V, un curent limită, care se poate întrerupe fără producerea unor scîntei la contacte. Această limită variază, cînd tensiunea crește, și depinde de temperatura contactelor, de caracteristicile materialului, de forma și de structura suprafeței de contact, cum și de umiditatea aerului ambiant.

În fig. 21 se dau valorile minime ale curentului limită, în funcție de tensiunea continuă, la o serie de materiale de contact. Cuprul, care se situează aproape de platină, nu este cuprins în curbe, valorile respective depinzînd mult de starea

lui de oxidare. Curba cu pantă superioară a grafitului îi permite întreruperea unor curenți relativ mari, fără scîntei, ceea ce explică întrebuințarea lui la perii de colector. Valorile nu se schimbă dacă, păstrînd materialul respectiv la catod, se ia alt material drept anod. Temperatura de fuziune are, evident, o mare influență, din care cauză materialele speciale de contact sînt alese din metale cu un punct de fuziune înalt (Wo, Pt, Mo, Os, Ir).

Asimptota la curbele de formă hiperbolică din fig. 21 reprezintă tensiunea minimă necesară pentru întreținerea unui arc la contacte. Sub valoarea acestei tensiuni, orice curent se poate întrerupe fără scîntei sau arcuri. Valorile tensiunii respective minime sînt date în tabela 7.

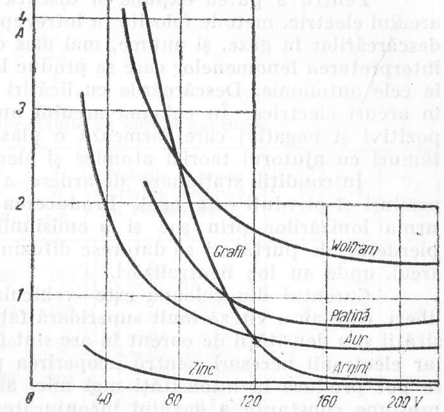


Fig. 21. — Curentul limită de deschidere fără scîntei și arcuri a contactelor, în funcție de tensiune, pentru diferite materiale de contact.

30. **Tensiunea de licăriri.** În aceeași tabelă s-au introdus și valorile minime ale tensiunii la care se poate amorsa o descărcare cu licăriri între contacte deschise. Licăririle apar între contacte deschise în aer, cînd tensiunea depășește o limită, numită tensiunea de amorsare a licăririlor, și se mențin sub această formă, numai dacă intensitatea curentului care trece între contacte este foarte redusă (circa 0,1 A pentru Wo, Ag, Pt și 0,3 A pentru Cu). La curenți mai mari, descărcarea se transformă în arc

Tabela 7. Tensiunea minimă de arc U_a și tensiunea de licăriri (luminescențe) U_l

Material de contact	U_a V	U_l V	Material de contact	U_a V	U_l V
Cupru	12,5	280	Wolfram	16	325
Argint	12	300	Fier	12...15	290
Argint-Paladiu	13	315	Alamă	15	290
Aur	15	285	Zinc	12	300
Platină	16	300	Cărbune-Grafit	18...22	—

Tensiunea minimă de arc și de licăriri are valori care nu variază prea mult în funcție de materialul de contact. Aceste limite constante împart gama de tensiuni în trei domenii care se comportă diferit din punctul de vedere al aparatelor electrice: *joasă tensiune* pînă la circa 20 V (efectiv 40 V), la care orice curent se poate întrerupe prin depărtarea cît de mică a contactelor; *medie tensiune* pînă la circa 300 V, la care nici cea mai mică distanță în aer nu poate fi străpunsă printr-o descărcare, și *înaltă tensiune* peste 300 V, la care există pericolul străpungerii sau al conturnării [1]).

[1]) În practică însă, din punctul de vedere al tipizării aparatelor, tensiunile înalte se consideră începînd de la 1 000 V (1 kV).

c) Caracteristici ale arcurilor electrice

31. **Explicația caracteristicii descendente.** Dacă un circuit în care trece un curent mai mare decît curentul limită al licăririlor, se deschide prin depărtarea unor contacte mobile, între acestea apare un arc electric.

Pentru a putea expune și discuta metodele cele mai eficace ale stingerii arcului electric, metode folosite în întreruptoare, sînt necesare cunoștințe din teoria descărcărilor în gaze, și anume, mai ales din teoriile ionizării prin șoc, cum și din interpretarea fenomenelor care se produc la trecerea de la descărcările neautonome la cele autonome. Descărcările cu licăriri se pot transforma, în anumite condiții, în arcuri electrice. În coloana arcului apar în acest caz, concomitent, purtători pozitivi și negativi care formează o plasmă cu proprietăți speciale, care se pot lămuri cu ajutorul teoriei atomice și electronice.

În condiții staționare de ardere a arcului, numărul purtătorilor de sarcini produși și pierduți este egal. Producerea de purtători se face, în majoritate, în urma ionizărilor prin șoc și a emisiunii termoelectronice din catodul cald, iar pierderile de purtători se datoresc difuziunii de electroni în spațiul care înconjură arcul, unde au loc neutralizări.

Curentul din coloană este vehiculat aproape excluziv de către electronii liberi, care au o viteză mult superioară față de ionii pozitivi. La o creștere a intensității și a densității de curent în arc sînt favorizate ionizările prin șocuri succesive, iar electronii necesari pentru acoperirea pierderilor prin difuziune și neutralizări se pot produce la intensități mai mici ale cîmpului electric. În consecință, la o presiune constantă a gazului înconjurător, intensitatea cîmpului axial descrește, cînd curentul crește. Arcul are deci o caracteristică de tensiune-curent descrescîndă și prezintă o rezistență proprie variabilă în funcție de curent (fig. 21).

Bilanțul energetic al arcului staționar se obține prin egalarea puterii electrice desvoltate în coloană cu puterea pierdută prin radiație și convecție termică. Din ea rezultă că, la presiune constantă, intensitatea cîmpului în direcție longitudinală este invers proporțională cu rădăcina cubică a curentului din arc:

$$\mathcal{E} = \frac{C_1}{\sqrt[3]{i}}$$

La creșterea presiunii, coloana arcului se contractă, și cîmpul din arc crește aproximativ cu rădăcina a șasea din presiune: $\mathcal{E} = C_2 \sqrt[6]{p}$.

32. **Caracteristica arcurilor stabile de curent continuu** avînd o lungime de $l = 0{,}5 \ldots 5$ cm se poate deduce din adunarea căderilor de tensiune la catod U_C la anod U_A, în zonele de trecere din fața electrozilor U_t și în coloană U_l (la lungimi mai scurte, căderea de tensiune din coloană se poate neglija față de căderile la electrozi). Rezultă formula Ayrton cunoscută și verificată prin experiențe:

$$u_a = U_C + U_A + U_t + \mathcal{E} \cdot l,$$

sau, practic:

$$u_a = a + \frac{b}{i} + c \cdot l + \frac{dl}{i},$$

în care: a este partea constantă a căderii de tensiune catodice, anodice și a căderii din zonele de trecere adiacente electrozilor;

b — partea dependentă de curent a căderii de tensiune catodice, anodice și a zonelor de trecere;

c — partea de cădere de tensiune din coloană, independentă de curentul arcului;

d — partea de cădere de tensiune din coloană dependentă de curentul arcului.

La arcuri lungi, stabilizate printr-un mijloc oarecare, formula are forma:

$$u_a = U_A + U_C + \mathcal{E}(i, r, p)\, l.$$

în care $\mathcal{E}(i, r, p)$ este intensitatea cîmpului electric în coloana de lungimea l, depinzînd de curentul i, de diametrul $2r$ al coloanei și de presiunea p a gazului înconjurător. Valori ale parametrilor acestor formule, valabile pentru arcuri de curent continuu stabile, sînt date în tabela 8.

Arcurile scurte comportînd curenți sub 30 A, se pot urmări cu ajutorul relației:

$$u_a = a + \frac{d \cdot l}{i}.$$

Tabela 8. Parametrii arcurilor stabile de curent continuu

Electrozi	Gaz	a V	b W	c V/cm	d W/cm	Valorile la arcuri scurte de lungimea l și intensitatea i:	U_C V	U_A V	U_t V
Cupru cilindric 1 cm	Aer	17	20	22	180	$l = 0{,}1 \ldots 1$ cm; $i = 2 \ldots 15$ A	8	3,3	40
Fier cilindric 1 cm	Aer	15	10	22	150	$l = 0{,}5 \ldots 3$ cm; $i = 2 \ldots 10$ A	4	4	50
Fier cilindric	H_2	12	10	40	90	$l = 0{,}5 \ldots 3$ cm; $i = 2 \ldots 10$ A		80	
Idem	Abur	15	30	30	200	$l = 0{,}5 \ldots 3$ cm; $i = 2 \ldots 10$ A		50	
Cărbune omogen 1 cm	Aer	40	12	20	100	$l = 0{,}1 \ldots 0{,}7$ cm; $i = 2 \ldots 20$ A	11	12	80
Cărbune omogen 0,5 cm	Aer	20	10	3	50	$l = 0{,}3 \ldots 1$ cm; $i = 5 \ldots 20$ A			
Cărbune omogen 0,5 cm	CO_2	45	20	15	90	$l = 0{,}3 \ldots 1$ cm; $i = 3 \ldots 10$ A			

Valorile intensității cîmpului în cîteva gaze sînt date în fig. 22, în funcție de curent.

Arcurile care apar între contactele întreruptoarelor nu ajung totdeauna la echilibru termic, pentru a putea fi reprezentate prin valorile din tabela 8 și din fig. 22. Asupra efectelor posibile în astfel de cazuri se va reveni mai jos.

În fig. 23 s-a reprezentat o serie de curbe caracteristice ale arcurilor electrice de curent continuu, stabile, pentru diferite lungimi ale coloanei. Considerînd o sursă cu o f.e.m. E_0 și cu o rezistență R în serie cu arcul, caracteristica alimentării arcului este dată de o dreaptă descendentă, cu panta $\operatorname{tg} \alpha = R$. Punctul de funcționare al arcului se găsește la intersecția celor două caracteristici. Se poate demonstra ușor că punctele H, G și F sînt puncte de funcționare nestabilă, deoarece orice creștere accidentală a curentului în arc provoacă o descreștere a tensiunii arcului.

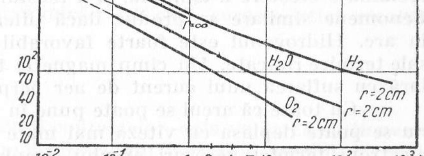


Fig. 22. — Intensitatea cîmpului axial în coloana arcului în gaze diferite, în funcție de curentul în tuburi cu rază $r = 2$ cm (pentru comparație se arată și cazul arcului liber, $r = \infty$, pentru hidrogen).

Punctele A, B și C sînt puncte stabile de funcționare. Rezistența de stabilizare R se alege astfel, încît intersecțiile cu caracteristica arcului să se producă la lungimea și la intensitatea dorită pentru arc.

33. **Stabilitatea termică a arcului.** Ionizarea gazelor poate să apară la temperaturi înalte și fără cîmpuri electrice, din cauza șocurilor între molecule, a ionizării fotoelectrice a pereților și a șocurilor de electroni în echilibru termic. Invers, procese de desionizare apar prin cedarea sarcinilor către electrozi și pereți și prin recombinație ionică în volumul coloanei arcului, energia liberată producînd efecte fotoelectrice, care se pot aprecia exact, cu ajutorul teoriei cuantelor.

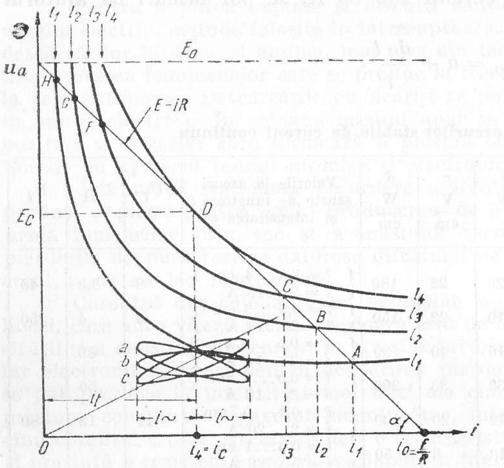


Fig. 23. — Caracteristica arcurilor de curent continuu stabilizate: $u_a = f(i)$, pentru diferite distanțe între electrozi.

Procesul de difuziune a purtătorilor către regiuni cu concentrație mai redusă se poate urmări aplicînd legile cunoscute din teoria analitică a căldurii. Dificultatea este de a stabili valoarea exactă a coeficientului de difuziune, respectiv a mobilității ionilor, deoarece acesta depinde, între altele, de intensitatea cîmpului, de parcursul liber (presiune), de temperatură, de concentrația de purtători, de forțele electrostatice dintre ei etc. Calculul însuși se rezumă la rezolvarea ecuației diferențiale pentru spațiul cilindric din jurul coloanei, curentul de difuziune exprimîndu-se prin funcțiuni Bessel.

Pierderile de căldură ale coloanei au loc, în majoritate, prin radiație și numai parțial prin convecția gazelor în care arde arcul. Această convecție poate deveni atît de violentă la curenți mari, încît curenții de gaze să pătrundă în interiorul coloanei, producînd, prin mișcări turbulente, o răcire mai eficace a arcului. Fenomenul influențează bilanțul energetic al acestuia și, la o intensitate dată, reclamă o creștere a cîmpului și a tensiunii, ceeace poate duce la stingerea arcului. Fenomene similare se produc dacă diferite gaze sau aerul sînt suflate puternic în arc. Hidrogenul este foarte favorabil în acest sens, din cauza conductivității sale termice ridicate. Un cîmp magnetic transversal pe arc produce o acțiune similară cu suflarea unui curent de aer perpendicular pe axa coloanei.

Cu toate că arcul se poate pune în mișcare prin aceste efecte, piciorul arcului nu se poate deplasa cu viteză mai mare mai ales pe catod, din cauza apelului de electroni termici necesari arcului. Deplasarea forțată a piciorului arcului poate accelera stingerea lui, dar numai la materiale de catod cu punct de topire înalt, cum este cărbunele, pe care piciorul arcului nu se poate deplasa cu viteză mai mare de cîțiva cm/s. În schimb, pe cupru s-au observat viteze de deplasare peste 10 cm/s, iar pe mercur lichid, de peste 10 m/s.

d) Întreruperea circuitelor de curent continuu

34. **Condiția stingerii arcului de curent continuu.** Procesele principale de producere a purtătorilor fiind emisiunea termoelectrică din catodul cald și ionizarea prin șoc în coloană, care se activează odată cu creșterea temperaturii, este clar că o răcire a arcului și o concomitentă scădere a temperaturii coloanei este un mijloc eficace de a provoca stingerea arcului. Temperatura mai scăzută este favorabilă, pe de altă parte, neutralizării purtătorilor prin recombinări în gaze sau pe pereții reci care înconjură aproape totdeauna arcul din întreruptoare. Condiția generală de stingere a arcului este ca *numărul purtătorilor produși prin ionizare termică și prin șoc să fie continuu mai mic decît al celor care dispar prin recombinări și prin neutralizări.* Aceeași condiție se poate formula și energetic, în sensul că puterea desvoltată în arc să fie mai mică decît puterea disipată.

Răcirea arcului are scopul de a mări pierderile de energie prin radiație și prin convecție. Pentru a-și putea menține caracterul « autonom », arcul tinde să se opună reducerii temperaturii. Răcirea produce o contracție a coloanei, și, la un curent dat, produce o mărire a densității lui, ceea ce are ca urmare creșterea intensității cîmpului și a tensiunii între contacte. Puterea introdusă în arc se mărește pînă la nivelul puterii pierdute. Mărirea intensității cîmpului provoacă o creștere a vitezei medii a electronilor și, în consecință, o creștere a temperaturii coloanei contractate.

Puterea introdusă în arc are o limită superioară, care, în cazul circuitului cu rezistență pură R, este:

$$P_{max} = \frac{U^2}{4R}$$

Dacă, în urma unei răciri eficace, respectiv a lungirii arcului, puterea disipată depășește această limită un timp suficient de lung, arcul va fi stins. În circuite cu inductanță, timpul de stingere și arcul se lungesc, deoarece, la tensiunea sursei se adaugă tensiunea inductivă, iar la energia sursei se mai adaugă energia liberată de cîmpul magnetic, în cursul întreruperii circuitului. La circuite simple de curent continuu, fenomenele se pot urmări analitic; la cele mai complicate, numai cu metode grafice.

În consecință, curbele de variație a intensității și a tensiunii transitorii la deschiderea circuitelor cu rezistență pură, cu inductanță și capacitate etc., pot fi calculate, atît pentru viteze mici, cît și pentru viteze mari ale mișcării contactelor. Aceste calcule permit urmărirea mai ușoară a parametrilor care influențează stingerea arcurilor de curent continuu și deducerea metodelor de a produce această stingere.

35. **În circuite pur ohmice** cu o rezistență R, la întreruperea unor curenți continui sub 30 A prin întreruptoare cu cursă mică ($l < 2$ cm), caracteristica arcului se poate scrie:

$$u_a = a + \frac{l \cdot d}{i} .$$

Curentul scade, în momentul deschiderii contactelor, dela valoarea staționară $i_0 = U/R$, la valoarea $i_1 = (E-a)/R$. Cel mai mic curent posibil al arcului, a cărui tensiune satisface în fiecare moment condiția $u_a = E - iR$, este $i = i_1/2$, tensiunea corespunzătoare fiind $u_{a2} = (E + a)/2$, iar puterea de rupere $P_r = i \cdot u_a = (E^2 - a^2)/4R \approx E^2/4R$. Lungimea maximă a arcului este:

$$l_r = \frac{(E-a)^2}{4 \cdot d \cdot R} .$$

La arcuri cu o lungime $l > 2$ cm, caracteristica se poate aproxima prin $u_a = (c + d/i)l$, și curentul minim al arcului este:

$$i_r = \frac{d}{c}\left(\sqrt{1 + i_0 \cdot \frac{c}{d}} - 1\right).$$

La tensiunea U constantă, lungimea de rupere a arcului:

$$l_r = \frac{E}{c} \frac{l - \frac{i_r}{i_0}}{1 + \frac{d}{c\, i_r}},$$

crește cu i_0, fracția avînd valoarea 1 pentru $i_0 \to \infty$. Tensiunea sursei E servește în acel caz numai la acoperirea căderii de tensiune $c \cdot l$ în arc, căderea în R putînd fi neglijată.

Energia arcului, la o viteză v constantă de deschidere a contactelor, este:

$$W_r = \frac{1}{v} \int_0^{l_r} u_a \cdot i \cdot dl,$$

și se poate calcula pentru ambele alternative de mai sus.

36. **În circuite inductive** de curent continuu, lungimea de rupere a arcurilor este mai mare. Fenomenele se pot urmări analitic, în trei alternative:

α) viteza de deschidere a contactelor este atît de mare, încît curentul nu variază în timpul arcului (lungimea arcului se poate considera constantă); durata arcului este, pentru deschideri, cu $l \gg l_r$:

$$t_a = \frac{2 l_r T}{l},$$

$T = L/R$ fiind constanta de timp a circuitului, iar pentru deschideri, cu $l \gg l_r$:

$$t_a = \frac{\pi T}{\sqrt{\frac{l}{l_r} - 1}};$$

β) viteza contactelor este atît de mică, încît variațiile curentului sînt lente: tensiunea inductivă $L\, di/dt$ se poate neglija și se obțin relațiile din circuite cu rezistență pură;

γ) variația lungimii arcului este de același ordin de mărime ca fenomenul transitoriu, și curentul variază puțin.

Se ia în considerație mărirea tensiunii arcului care, pentru simplificare, se exprimă prin $u_a = c \cdot l$. La viteză constantă a contactelor, ecuația de rezolvat este:

$$U = Ri + L \cdot \frac{di}{dt} + c \cdot v \cdot l,$$

iar soluția ei este:

$$i = \frac{cv}{R} [T \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) - t] + i_0 .$$

Pentru valori mari ale lui t, curentul descrește liniar, iar la ruperea arcului, apare un vîrf de supratensiune. Timpul de rupere este $t_r \approx t_{rR} + T$, dacă timpul corespunzător în circuitele ohmice este $t_{rR} > t$.

La lungimea de rupere l_{rR} pentru circuitele ohmice, se mai adaugă termenul vT:

$$l_{rL} = l_{rR} + vT.$$

37. **Elemente suplimentare în circuit.** Una dintre *soluțiile pentru stingerea arcului de curent continuu se bazează pe introducerea de elemente electrice suplimentare în circuit*, și anume de capacități și rezistențe « de descărcare » în derivație, sau inductanțe în serie cu contactele.

Presupunînd circuitul ohmic cu rezistența R, capacitatea în paralel este parcursă de un curent:

$$i_c = C \frac{du_a}{dt},$$

iar arcul se stinge după timpul $t_c = t_R - RC$, cu condiția ca $T_c = RC > t_R$. De obicei, se leagă și o rezistență de amortizare în serie cu condensatorul pentru a nivela șocurile de descărcare ale acestuia, în cazul manevrărilor frecvente. În schimb, durata de stingere și energia arcului se măresc. O inductanță cît de mică în serie (cea a legăturilor este uneori suficientă) formează, cu capacitatea de descărcare, un circuit oscilant care este excitat de scînteia sau de arcul dintre contacte, la oscilații proprii. Cînd diferența dintre curentul oscilatoriu și curentul arcului ajunge egală cu curentul limită, arcul se stinge.

Rezistența în derivație se recomandă în cazul cînd se întrerup circuite de mare inductanță (excitația mașinilor, bobine de electromagneți mari etc.). Această rezistență se introduce în mod convenabil în circuit, numai înainte de întreruperea circuitului, principiu pe care se bazează întreruptoarele speciale de excitație.

Rezistențele a căror valoare descrește cu tensiunea aplicată, ca acelea utilizate în descărcătoare, sînt deosebit de favorabile în acest scop. Legătura se poate menține constantă, dacă în loc de rezistență sau, în serie cu rezistența respectivă, se montează un element redresor, permeabil numai pentru curentul de sens invers celui de descărcare.

38. **Suflaj prin gaze.** Stingerea arcului se mai poate accelera prin *suflarea de gaze* în lungul coloanei sau, transversal pe coloana arcului, ceea ce reduce ionizările prin șoc, prin răcirea coloanei și emisiunea termică și deci, implicit, numărul de purtători. Pentru răcirea arcului se mai pot folosi multe metode, asupra cărora se dau detalii mai jos. Un curent de aer transversal pe coloană o deplasează lateral și contribuie, prin lungirea arcului și dirijarea lui spre locuri mai reci, la stingerea lui, cînd energia disipată începe să depășească pe cea introdusă în arc. Același efect se poate obține și prin suflaj magnetic, adică prin aplicarea unui cîmp magnetic transversal pe arc, care-l deplasează după legea forței electro-magnetice, lungindu-l și răcindu-l. La densitățile de flux de $10^{-3}-10^{-2}$ T (10–100 G) întrebuințate, efectul de răcire depășește pe cel al alungirii.

39. **Efectul de perete.** A treia metodă de a stinge arcul constă în a-l apropia de suprafețele unor pereți reci (efectul de perete) și a-i extrage căldura pe această cale, activînd desionizarea prin recombinări și neutralizări de suprafață și prin difuziune de purtători. Acest efect este mai pronunțat la pereți din material conductor. La pereți izolanți, temperatura înaltă a arcului produce o evaporare puternică de gaze din perete, ceea ce, prin convecție și prin prezența hidrogenului, contribuie la răcirea și, în consecință, la stingerea arcului. Cantitatea de gaz eliberată din materialele izolante solide este foarte mare. De exemplu un arc de 500 A, într-un tub cu diametrul interior de 2 cm, eliberează 300 cm³/s pe cm² de perete, redusă la presiune și la temperatură normală. Asbestul eliberează

vapori de apă legată higroscopic. Gazele eliberate de pereți feresc materialul solid de a fi ars de arc. Este important ca gazele să nu depună reziduuri conductoare pe pereți (de exemplu cărbune).

Aceste principii stau la baza construcției tuburilor cu expulsie și a separatoarelor de sarcină cu gaze din materiale solide (numite « cu autosuflaj de gaze»). Dacă arcul este închis ermetic *într-un spațiu gazos*, el încălzește și disociază gazul, iar prin mărirea presiunii se obține creșterea intensității cîmpului și a tensiunii arcului, pînă cînd acesta este stins. Gazele eliberate de pereți pot contribui la o stingere mai rapidă a arcului.

40. **Arcurile electrice în vid avansat** se sting foarte repede, din cauza lipsei unui gaz care să fie ionizat în coloană, cu condiția ca purtătorii eliberați termic din piciorul arcului să fie insuficienți pentru a vehicula curentul, ceea ce se atinge prin electrozi de mare capacitate termică, care se răcesc ușor, sau întrebuințînd materiale de contact, cu un punct de fuziune înalt.

Stingerea arcului într-un timp atît de scurt, care să nu permită descărcarea energiei magnetice a circuitului, poate provoca supratensiuni, mai ales în circuite cu inductanță, deoarece această energie trece asupra capacității, uneori mică, a circuitului. În astfel de cazuri, se folosesc descărcătoare, pentru a limita supratensiunile la o valoare care nu periclitează instalația.

e) Întreruperea circuitelor de curent alternativ

41. **Condiții de stingere a arcului de curent alternativ.** Întreruptoarele în circuite de curent alternativ nu trebuie să stingă un arc continuu, ci să împiedice ca acesta să se reaprindă după trecerea curentului prin valoarea zero.

O tensiune sinusoidală aplicată unui arc în serie cu o rezistență sau o inductanță de stabilizare cît de mare, nu produce prin arc un curent sinusoidal, ci unul întrerupt (fig. 24).

Curentul se anulează înainte de trecerea prin zero, deoarece tensiunea aplicată scade sub tensiunea de ardere a arcului, care crește cînd curentul scade. În sens invers, curentul nu poate să apară imediat, și se formează astfel o pauză fără curent. Tensiunea necesară reaprinderii arcului u_r este mai mare decît cea la care arcul s-a stins u_s, deoarece, în pauză intervin desionizări ale catodului și ale coloanei, care scad conductibilitatea ei, în mod rapid. După reaprinderea arcului, tensiunea u_a scade conform caracteristicii, odată cu mărirea curentului, la o valoare mică, aproape constantă în toată semiperioada.

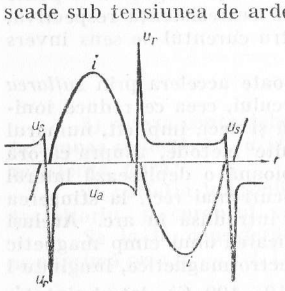


Fig. 24.—Variația cu timpul a tensiunii u_a și a intensității curentului i în arc, în circuite alternative: u_r — tensiunea de reaprindere; u_s — tensiunea de stingere.

La arcuri lungi, procesele de la electrozi se pot neglija. Capacitatea termică a coloanei de gaz își manifestă influența producînd un fenomen de histeresis, iar caracteristica arcului tinde să se apropie de cea a unei rezistențe. Temperatura coloanei nu variază concomitent cu curba curentului, ci întîrzie cu atît mai mult, cu cît curentul este mai mare și arcul mai lung (fig. 25).

Efectul este mai pronunțat la frecvențe înalte (fig. 23).

Arcurile scurte între contacte de cărbune cu o capacitate termică mare reușesc să facă liniară caracteristica, la frecvențe sub 10 Hz, pe cînd arcurile lungi în hidrogen, între contacte de cupru bine răcite, nu prezintă fenomenul de histeresis nici la 10 000 Hz.

Capacitatea termică a coloanei arcului are un rol foarte important în procesul de stingere a arcului, în curent alternativ.

Condiția de extincție valabilă pentru curenți continui este prea severă pentru arcuri stabilizate la frecvențe normale (industriale), deoarece temperatura arcului variază considerabil în cursul unui ciclu. Condiția respectivă corespunde numai frecvențelor peste 1 000 Hz. La frecvențe industriale, panta curentului, la trecerea prin valoarea zero, este totuși atît de mare, încît capacitatea calorică a coloanei contribuie substanțial la reaprinderea arcului, care deci deobicei nu se stinge dela sine, ca cel de curent continuu de intensitate foarte mică. În consecință, se impun măsuri speciale pentru stingerea arcurilor alternative, prin reducerea densității electronilor liberi în coloană, în timpul trecerii curentului prin zero.

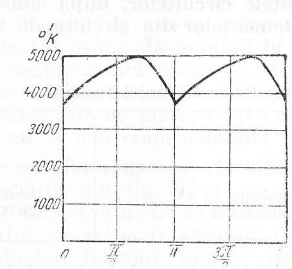


Fig. 25.— Variația în timp a temperaturii arcurilor lungi în aer (2 A, 50 Hz).

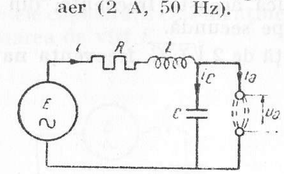


Fig. 26.—Schema întreruperii unui circuit inductiv cu o capacitate față de pămînt (linii).

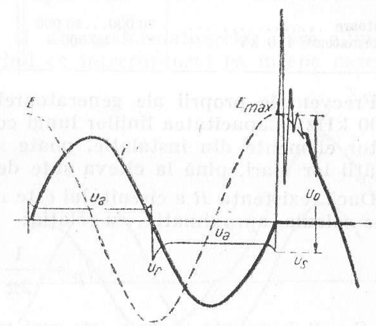


Fig. 27. — Variația în timp a curentului i, a tensiunii arcului u_a și a tensiunii sursei E, la întreruperea unui scurtcircuit inductiv.

42. **Întreruperea scurtcircuitelor.** Solicitările cele mai puternice ale întreruptoarelor intervin la scurtcircuite în instalațiile de înaltă tensiune. Scurtcircuitul este, deobicei, *inductiv*, deoarece rezistența ohmică a căilor de curent de înaltă tensiune este, în general, mult mai mică decît inductanța (la generatoare, circa 7 %; la transformatoare, după puterea lor, circa 8. . . 3 %). Numai pe linii aeriene lungi și de secțiune mică, sau în rețele de cabluri, rezistența devine de ordinul de mărime al inductanței. Circuitul sursei prezentînd, de cele mai multe ori, o capacitate față de pămînt, schema simplificată a circuitului este cea din fig. 26.

Fenomenul de *întrerupere a unui scurtcircuit inductiv* se poate urmări în fig. 27.

Curentul de scurtcircuit este, în acest caz, defazat înapoia tensiunii sursei, cu 90°. La deschiderea contactelor, tensiunea arcului u_a este relativ redusă, dar ea crește cu distanța dintre contacte fiind mai mare în fiecare semiperioadă următoare. După fiecare trecere prin zero a curentului, arcul stins se reaprinde, tensiunea de reaprindere crescînd mereu.

În timpul trecerii curentului prin zero, tensiunea este aproape de amplitudine, în sensul în care curentul trebuie să crească. Căderea de tensiunea în arc reprezintă, în general, o mică parte din tensiunea întreagă.

43. **Oscilații proprii ale circuitului.** Capacitatea proprie și cea față de pămînt formează circuite oscilante cu inductanțe, care conțin, în acest moment, energii magnetice înmagazinate. În circuitele obișnuite, predomină capacitatea față de pămînt, astfel încît ea trebuie să fie considerată ca fiind în serie cu inductanța circuitului la întrerupere. Energia magnetică a inductanței trece în energia electrostatică a condensatorului respectiv, astfel încît apar oscilații naturale cu frecvențe proprii, care se amortizează în rezistențele circuitelor, după constanta de timp L/R respectivă. Frecvențele proprii ale elementelor din circuite de înaltă tensiune sînt date în tabela 9.

Tabela 9. Frecvențele proprii ale elementelor circuitelor de înaltă tensiune

Element	Hz	Element	Hz
Generatoare	20 000...40 000	Transformatoare 30 kV	50 000
Transformatoare 110 kV	20 000	Transformatoare 6 kV	150 000

Frecvențele proprii ale generatoarelor și ale transformatoarelor sînt mari (20—100 kHz). Capacitatea liniilor lungi conectate în circuit, cum și cea a barelor și a altor elemente din instalație, poate să reducă această frecvență, din cauza capacității lor mari, pînă la cîteva sute de cicli pe secundă.

Dacă rezistența R a circuitului este mică față de $2\sqrt{L/C}$, frecvența naturală se poate calcula, aproximativ, cu relația:

$$f_p = \frac{1}{2\pi}\frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Cu cît frecvența proprie este mai mare, cu atît panta tensiunii de revenire este mai mare, și o reaprindere este mai probabilă. Oscilația tranzitorie întîrzie, totuși, cîteva microsecunde, apariția instantanee a tensiunii sursei la contacte, ceea ce este favorabil stingerii definitive, deoarece, între timp, spațiul coloanei arcului se poate desioniza suficient. Dacă în acest interval de timp tensiunea de reaprindere crește mai repede decît unda de înaltă frecvență a tensiunii de revenire, arcul rămîne stins; altfel, se reaprinde. Lungimea arcului care se poate stinge este proporțională cu frecvența proprie a circuitului și cu tensiunea sursei, depinzînd mai puțin de frecvența de serviciu și de valoarea curentului, cu toate că intensitățile mai mari ionizează mai mult locul coloanei.

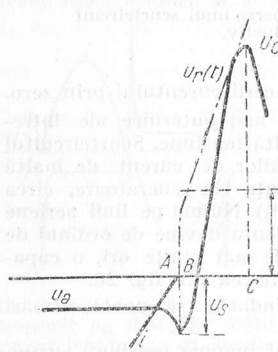


Fig. 28. — Curba tensiunii arcului u_a, a tensiunii între contacte u_c și a tensiunii de reaprindere u_r, la trecerea curentului prin zero.

Principiul fenomenului de stingere este redat schematic în fig. 28.

Cînd curentul se apropie de valoarea zero, tensiunea arcului u_a începe să crească, iar în momentul cînd curentul se anulează (punctul A), are o valoare de vîrf u_s, care este, în general, greu de determinat. Din acest moment începe oscilația proprie a sistemului, reprezentată în fig. 28. Tensiunea între contacte u_c trece prin valoarea

zero (punctul B), crește rapid spre valoarea de vîrf E_{max} a tensiunii sursei și o depășește pe aceasta. Tensiunea maximă care poate să apară între contacte este, dacă se neglijează atenuările:

$$u_{c\ max} = 2E_{max} + u_s.$$

Timpul de cîteva microsecunde necesar pînă la atingerea acestei valori favorizează stingerea arcului, în ciuda tensiunii mai mult decît duble care apare între contacte, din cauză că, în acest interval de timp, tensiunea de reaprindere u_r crește deasemenea foarte repede. Dacă se presupune că panta acestei tensiuni $u_r(t)$ este atît de mare, încît curba u_c o atinge doar în creșterea ei, fără a o tăia, arcul nu se mai reaprinde.

44. **Întreruperea circuitelor pur capacitive** se poate urmări pe schema echivalentă din fig. 29.

Inductanța L a generatoarelor și a transformatoarelor care alimentează circuitul nu se poate elimina. Considerînd că întreruptorul își începe deschiderea contactelor imediat înainte de anularea curentului din fig. 29 și fig. 30 rezultă că tensiunea la bornele capacității C se menține la valoarea de vîrf E_{max}.

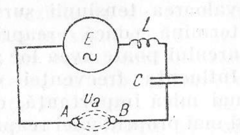


Fig. 29.— Schema întreruperii unui circuit capacitiv.

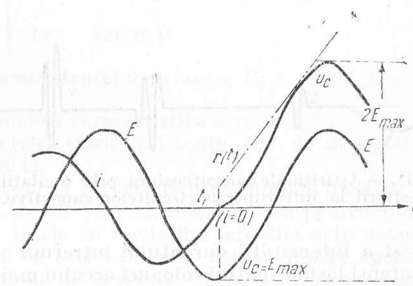


Fig. 30. — Variația în timp a curentului i, a tensiunii sursei E și a tensiunii de reaprindere u_r, la întreruperea unui circuit capacitiv.

Tensiunea între contacte este egală cu:

$$u_c = E_{max} + u_s$$

și crește din momentul t_1, la început cu o pantă mică, ceea ce este favorabil pentru evitarea unei reaprinderi. Valoarea maximă $2\ E_{max}$ a tensiunii între contacte se atinge la o jumătate de perioadă după întreruperea curentului, tensiunea de reaprindere $u_r\ (t)$ trebuind să crească cu o pantă, care să evite o intretăiere cu curba u_c, pentru ca arcul să nu se reaprindă.

Din cauza inductanței, totdeauna prezentă în circuit, în cazul reaprinderii arcului, curentul capacitiv apare precedat de o oscilație tranzitorie cu frecvența proprie a sistemului f_p (fig. 31).

Cîteva reaprinderi succesive pot să ridice tensiunea între borne la valori apreciabile, din cauză că, după stingerea arcului, capacitatea rămîne încărcată la tensiunea maximă anterioară, pe cînd borna opusă a întreruptorului este supusă tensiunii sursei. Ridicarea tensiunii se poate repeta teoretic fără limită. Practic, se consideră că limita maximă se ridică la 4,5 E.

Cu toate că izolația aparatajului va trebui să reziste la aceste tensiuni, este evident că deschiderea unor circuite capacitive (linii lungi în gol) reprezintă una dintre solicitările cele mai grave ale întreruptoarelor. Pentru a le evita, viteza de deplasare a contactelor ar trebui să fie cît de mare.

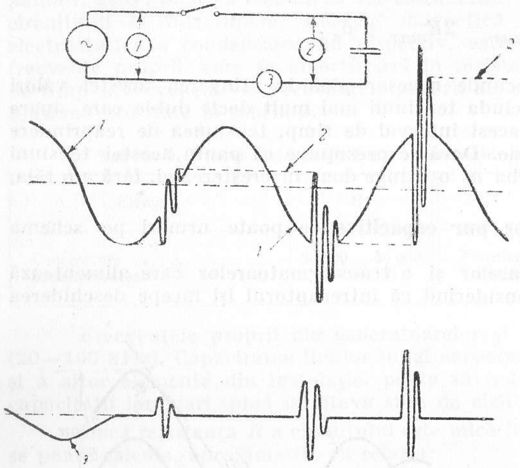


Fig. 31. — Apariția de supratensiuni prin oscilații tranzitorii la întreruperea circuitelor capactive.

45. **Întreruperea circuitelor neinductive.** În cazul unor *circuite neinductive*, tensiunea sursei fiind și ea redusă în timpul trecerii curentului prin valoarea zero, condițiile de extincție a arcului sînt mai favorabile decît la circuite inductive sau capacitive cînd tensiunea sursei este aproape de amplitudine în momentul trecerii curentului prin zero. În ambele cazuri, tensiunea sursei nu apare brusc între contacte, ci printr-o oscilație proprie a circuitului care conține sursa. Panta undei de tensiune, deci frecvența oscilației proprii, împreună cu valoarea tensiunii sursei, determină dacă reaprinderea arcului poate avea loc sau nu. Influența frecvenței de serviciu și a intensității curentului întrerupt sînt de mai mică importanță, curenții mai intenși lăsînd spațiul coloanei arcului mai ionizat și mai propriu unei reaprinderi.

f) Metode de stingere a arcurilor în curent alternativ

46. **Principiile metodelor de stingere.** Metodele de stingere se bazează pe cunoașterea cît mai apropiată a fenomenelor analizate în parte mai înainte. În fond, ca și în cazul curenților continui, ele se împart în: introduceri de elemente adiționale în circuit, în procedee diferite de desionizare care au ca scop mărirea cît mai rapidă a tensiunii de reaprindere. Ca *elemente adiționale* introduse în circuit se pot utiliza rezistențe în paralel cu întreruptorul, ceea ce reduce frecvența proprie a circuitului și panta tensiunii de revenire. În locul rezistenței se pot conecta și elemente redresoare sau descărcătoare cu rezistențe variabile, care reduc vîrfurile de tensiune ale oscilației proprii.

Procedeele pentru mărirea tensiunii de reaprindere sînt, în general, aceleași ca și la curenții continui, adică, răcire prin suflaj pneumatic sau magnetic, utilizarea efectului pereților și a presiunii ridicate, urmate de expansiune.

Din acest punct de vedere, s-a început cu întreruptoarele în aer, cu suflaj magnetic, la tensiuni și la puteri limitate și s-a trecut apoi la întreruptoarele în ulei mult, care au căpătat o largă folosire fiind utilizate pînă la cele mai mari tensiuni. Studiul îmbunătățirii lor a dus la desvoltarea camerelor de expansiune (de stingere) și apoi la întreruptoarele cu expansiune și cu ulei puțin. Suflajul pneumatic se aplică cu mult succes în întreruptoarele cu aer comprimat, pînă la cele mai înalte tensiuni. În fine, pe efectul pereților se bazează întreruptoarele cu autosuflaj de gaze din solide.

Piciorul arcului se deplasează, uneori,forțat de cîmpurile magnetice, pe suprafața contactelor, pentru *a reduce ionizarea termică*. Arcurile scurte de intensitate mică stingîndu-se mai ușor, s-a propus subîmpărțirea spațiului între contacte prin plăci metalice, arcul fiind suflat magnetic între aceste plăci, unde se stinge din cauza multiplicării căderilor catodice (întreruptoare Deion) și a tensiunii mult mai mari necesare susținerii arcurilor scurte în serie.

În cele ce urmează, se analizează pe scurt diferite metode de favorizare a stingerii arcului.

47. **Elemente adiționale în circuit** se folosesc mai ales sub forma unei rezistențe « de stingere » R_s, legată în paralel cu contactele întreruptorului. Din examinarea schemei fig. 26 privind întreruperea unui circuit inductiv cu capacitate față de pămînt, rezultă că, după întreruperea arcului, condensatorul se descarcă, pe de o parte în circuitul generatorului cu inductanța L, pe de altă parte, în circuitul rezistenței R_s. Fenomenul transitoriu se poate calcula ușor, neglijînd tensiunea generatorului. În circuitul oscilant, care rămîne neglijînd rezistența R a sursei și a circuitului de alimentare, se produc oscilații proprii cu frecvența:

$$f_p = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{(2CR_s)^2}},$$

care devin aperiodice pentru o valoare a rezistenței de stingere $R_s < \frac{1}{2}\sqrt{L/C} = \frac{1}{2}Z$, deci mai mică decît jumătate din impedanța caracteristică a rețelei.

Pentru frecvențe proprii ale rețelei (fără rezistența R_s) de 20—100 kHz rezultă rezistențe de $R_s = 400\ldots800\ \Omega$.

La tensiuni de 15—60 kV, impedanța caracteristică a liniilor fiind de circa 600 Ω, iar cea a cablurilor subterane, de 60—100 Ω, înseamnă că pentru punerea și scoaterea de sub tensiune a acestor rețele cu oscilații aperiodice este nevoie de rezistențe $R_s = 30\ldots300\ \Omega$. Cu toate că este util să se atingă limita aperiodică din punctul de vedere al pantei tensiunii de revenire, totuși, printr-o rezistență de stingere mică, curentul devine mare, și întreruperea lui, dificilă. Este deci indicat să se mențină valoarea rezistenței de stingere mai mare decît rezultă din condiția oscilației aperiodice. În anumite întreruptoare moderne, rezistența de stingere se introduce în circuit, în mod automat, prin mișcarea arcului suflat pneumatic pe electrozi speciali și se scoate din circuit prin stingerea completă a arcului.

În locul unei rezistențe de stingere, se poate conecta și *un redresor în paralel cu contactele întreruptorului*. Dacă la deschiderea acestora, redresorul oprește trecerea curentului, apare arcul, care este stins în semiperioada de permeabilitate a redresorului. Din cauză că, pînă la sfîrșit, redresorul trebuie să devină complet impermeabil (prin control de grile sau printr-un alt întreruptor care deschide în faza de oprire), această metodă nu s-a introdus în mod practic în instalații.

O altă soluție este conectarea în paralel a unei rezistențe variabile, la fel cu cele din descărcătoare, a căror rezistență scade la creșterea curentului. Curenții de înaltă frecvență ai oscilației proprii pot trece ușor prin rezistență, pe cînd cei staționari sînt strangulați și se pot întrerupe ușor.

48. **Metode care se referă la atenuarea arcului** sînt: răcirea coloanei arcului prin suflarea unor gaze reci asupra ei, prin deplasarea ei sub acțiunea unui cîmp magnetic și prin utilizarea efectului de răcire și desionizare a pereților.

Teoriile desvoltate în legătură cu stingerea arcului de curent alternativ în întreruptoare sînt încă divergente în concluzii și nu corespund întru totul cu observația experimentală.

Cîteva principii de bază care s-au cristalizat din cercetări au totuși o mare importanță pentru proiectarea întreruptoarelor cu putere de rupere.

49. Calculul stingerii arcului la întreruptoarele pneumatice. *Aspectele cantitative* ale întreruperii circuitelor se pot analiza mai ales la întreruptoarele pneumatice. Teoria electronică a fenomenelor arcurilor electrice se poate aplica la calculul capacității de rupere a acestor întreruptoare, mai ales la analiza momentelor care preced și succed trecerea prin valoarea zero a curentului (S l e p i a n, K e s s e l r i n g, B u i l o v).

Pentru analiza fenomenelor din perioada de anulare a curentului din arc, cele mai importante momente sînt (după notațiile din fig. 28):

A — punctul inițial al oscilației transitorii;

B — prima trecere prin zero a tensiunii transitorii între contacte și

C — atingerea valorii maxime a tensiunii transitorii.

Curentul nu se anulează complect în punctul *A*, din cauză că variația rapidă a tensiunii, în acest moment, provoacă un curent în capacitatea legată în paralel cu arcul și, pe de altă parte, capacitatea termică a coloanei arcului păstrează încă o apreciabilă conductivitate în acest spațiu, astfel încît curentul se anulează practic tot în momentul *B*, cînd și tensiunea devine zero. Dacă N_0 este densitatea de electroni în acest punct, condiția de reaprindere se poate scrie ca mai jos:

$$N_0 + \int_{t=0}^{t=\tau} \frac{\partial N}{\partial t} \cdot dt = N^*,$$

unde : $t = 0$ este originea axei timpurilor (punctul *A*);

$\tau = \frac{1}{2} t_c$ intervalul de timp dintre punctele *A* și *C*;

N^* — densitatea de electroni necesară reaprinderii, circa $10^{16} - 10^{17}$ electroni pe cm^3.

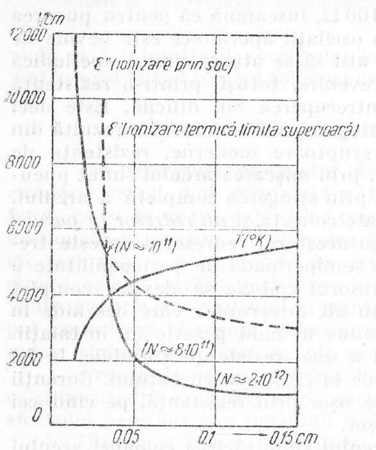


Fig. 32. — Relația dintre intensitatea cîmpului de reaprindere și diametrul arcului la sfîrșitul perioadei de anulare a curentului.

Tensiunea de reaprindere U_r depinde în mare măsură de diametrul *d* al arcului, în momentul *B*.

Ionizarea termică, fără ionizări prin șoc, condiționează o anumită valoare a intensității cîmpului, necesară reaprinderii arcului. Această valoare crește rapid cu timpul și cu scăderea diametrului coloanei de aer.

În funcție de diametrul arcului, rezultă limitele superioare ale cîmpului reprezentate în fig. 32, valabile pentru Azot la 4 ata și $\tau = 10^{-4}$ s. S-au indicat și cîteva valori ale densității electronilor N^*. Reaprinderea are loc la temperaturi întrecînd 4 000°K și la densități mai mari de $N^* = 10^{11}$ pe cm^3. Cîmpul $\mathcal{E}'$ crește rapid, odată cu scăderea diametrului arcului, cînd influența ionizării prin șoc devine mai importantă.

Neglijînd ionizarea termică, se poate obține intensitatea cîmpului necesară unei reaprinderi, pe baza ionizării prin șoc, în funcție de presiune și de diametrul coloanei. Valorile respective sînt reprezentate în fig. 33. Calculînd diametrul arcului în funcție de curent, de intensitatea cîmpului și de densitatea de electroni, rezultă valori prea mari pentru a putea stinge arcul, ceeace denotă că la stingere mai contribuie și un alt efect. Pentru explicarea fenomenului s-au emis două teorii.

α) După prima (K e s s e l r i n g), numită teoria deplasării, coloana arcului este întreruptă în două porțiuni, în timpul trecerii curentului prin zero, de către curentul rece de aer. Arcul rămîne întrerupt, dacă în coloană se introduce o cantitate suficientă de gaz rece pentru a nu mai fi străpunsă de creșterea tensiunii

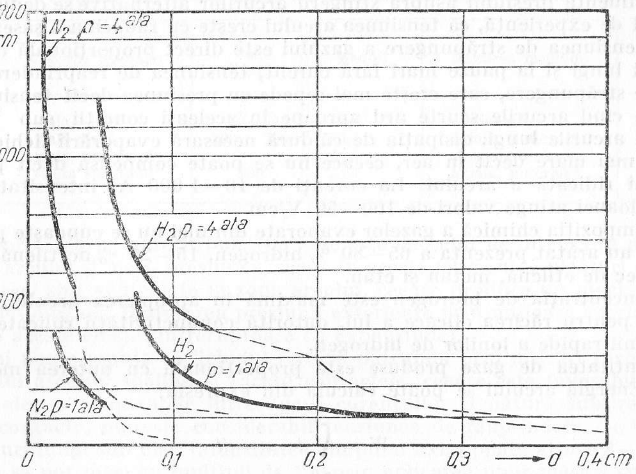


Fig. 33. Relația dintre intensitatea cîmpului de reaprindere și diametrul arcului la începutul perioadei de anulare a curentului.

oscilatorii de revenire. Această teorie permite să se calculeze puterea de rupere a întreruptoarelor pneumatice, deși, totuși, ea nu pare să corespundă, întru totul, fenomenelor.

β) A doua teorie (S l e p i a n) susține că mișcarea gazelor sub presiune nu este laminară, ci turbulentă și că, în consecință, condițiile de răcire și de desionizare a coloanei prin convecție și difuziune sînt mult mai eficace, decît rezultă din calculele statice. Coeficientul de difuziune poate să crească la o valoare de o sută de ori mai mare.

50. Analiza stingerii arcului în lichide. *Intreruperea curenților alternativi* de mare intensitate *în vid pronunțat* nu dă rezultate bune, din cauza supratensiunilor care se produc și a pericolului de a evapora metalul contactelor, ceeace strică vidul.

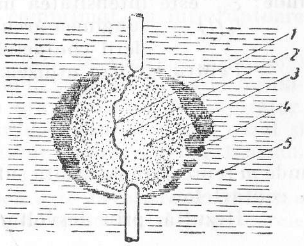


Fig. 34. — Vedere schematică a unui arc în lichid:
1 — arc; *2* — gaze calde; *3* — aburi; *4* — lichid fierbinte; *5* — lichid rece.

În schimb, cufundarea contactelor *în lichide*, mai ales în ulei, se utilizează de mult pentru stingerea arcului la puteri moderate. S-a descoperit că și apa are calități remarcabile în acest sens. În jurul arcului se formează o bulă de gaze și de vapori turbulenți, care, prin convecție, prin conductivitate termică și prin efectul de suprafață contribuie la neutralizarea ionilor și la reducerea temperaturii arcului (fig. 34).

În cazul cînd arcul arde la o suficientă adîncime sub ulei, ca bula de gaze să fie înconjurată de lichid, volumul ei variază proporţional cu puterea arcului, deci cu dublul frecvenţei de regim. Lichidul mai inert neputînd urma aceste variaţii rapide de volum, presiunea gazelor variază în limite largi şi, la amplitudinea curentului, poate să atingă valori pînă la 100 at.

Influenţa presiunii asupra stingerii arcurilor alternative se deduce din faptul confirmat de experienţă, că tensiunea arcului creşte cu rădăcina a şasea a presiunii, pe cînd tensiunea de străpungere a gazului este direct proporţională cu presiunea. La arcuri lungi şi la pauze mari fără curent, tensiunea de reaprindere se apropie de cea de străpungere, care creşte mai repede cu presiunea decît tensiunea arcului.

Pe cînd arcurile scurte ard aproape în aceleaşi condiţii sub lichide ca şi în aer, la arcurile lungi, disipaţia de căldură necesară evaporării lichidului este de cinci ori mai mare decît în aer, ceeace nu se poate compensa decît printr-o tensiune mai ridicată a arcului. La curenţi de 10–1 000 A, intensitatea cîmpului în axa coloanei atinge valori de 100–50 V/cm.

Compoziţia chimică a gazelor evaporate din ulei nu se cunoaşte precis. Probe analizate au arătat prezenţa a 65–80 % hidrogen, 15–25 % acetilenă, restul fiind un amestec de etilenă, metan şi etan.

Concentraţia de hidrogen este maximă în apropierea arcului, fapt foarte favorabil pentru răcirea eficace a lui, datorită conductivităţii ridicate de căldură şi difuziunii rapide a ionilor de hidrogen.

Cantitatea de gaze produse este proporţională cu puterea momentană a arcului. Energia arcului se poate calcula din expresia:

$$W = \int_0^t i \cdot u \cdot dt$$

şi variază în jurul unei valori medii. La arcuri scurte şi la intensităţi de 10–100 A, cantitatea de gaze variază între 5 şi 30 cm^3/kWs (gaz redus la 0°C şi 760 mm Hg), pe cînd la intensităţi de 1 000 A, s-au atins 80 cm/kWs.

Introducînd notaţia:

$$u = \mathcal{E}_a \cdot l_0 (t),$$

unde: $\mathcal{E}_a$ este intensitatea medie a cîmpului din arc (v. tabela 10);
$l_0(t)$ – lungimea arcului în funcţie de timpul scurt dela începerea deschiderii contactelor.

Pentru $l_0(t)$ se utilizează valoarea obţinută prin experienţă:

$$l_0 (t) = \frac{1}{m} \left(e^{v_m \cdot mt} - 1 \right),$$

unde m reprezintă influenţa suflajului magnetic, iar v_m este viteza medie de deplasare a contactelor.

Rezultă, prin desvoltarea în serie, expresia:

$$u = \mathcal{E}_a \cdot v_m \left(t + \frac{m v_m}{2} t^2 \right),$$

care se poate introduce în integrala energiei arcului.

Bilanţul energetic pentru arcuri lungi de circa 1 000 A arată că 25–30 % din energia arcului se consumă pentru încălzirea, vaporizarea şi disocierea uleiului în diferite hidrocarburi, pierderile prin radiaţie se cifrează la 5–10 %, iar contactele metalice şi mişcarea uleiului sustrag circa 13 %. Restul de circa 50 % din energie se disipă prin convecţie, comunicîndu-se gazelor.

În apă, volumul gazelor produse (de fapt hidrogen şi oxigen) este numai a treia parte a volumului produs în ulei. Intensitatea cîmpului în axa arcului variază între 30 şi 100 V/cm, la curenţi de 10 – 1 000 A.

Tabela 10. Valori de intensităţi medii ale cîmpului în arcuri electrice stabilizate

Mediul	Mişcarea mediului	$\mathcal{E}_a$ V/cm	Mediul	Mişcarea mediului	$\mathcal{E}_a$ V/cm
Aer	axială, slabă	10...20	Ulei	staţionară	70...100
Hidrogen	axială slabă	100.. 200	Ulei	axială, puternică	200
Aer şi hidrogen	axială, puternică (viteza sunetului)	200	Apă	staţionară	100
			Apă	axială, puternică	200

Vaporizarea pe pereţii bulei de gaze este deosebit de intensă în momentul cînd puterea arcului şi, deci, presiunea, scad. În aceste momente, picături de lichid şi de vapori reci sînt vehiculate în zona arcului, ceeace produce un efect favorabil de răcire şi desionizare. Reducerea presiunii exterioare prin mijloace speciale poate să intensifice aceste efecte (întreruptoare cu expansiune).

Se mai poate aranja ca lichidul rece să pătrundă prin mişcări turbulente în zona piciorului arcului, spălînd şi răcind contactele, ceeace este favorabil stingerii arcului, mai ales în momentele întreruperii curentului. O pătură subţire de gaze aderente la contacte, măreşte considerabil tensiunea de reaprindere.

In arcuri lungi sub ulei, intensitatea cîmpului axial poate atinge 2–3 kV/cm. Aceste valori se pot mări cu multipli de 10, prin aplicarea unor măsuri speciale de răcire şi strangulare a arcului, care se întîlnesc în întreruptoarele moderne de înaltă tensiune.

La întreruperea arcului în lichide, anume în ulei ca şi în apă, procesul de extincţie este în general dependent de intensitatea curentului care se întrerupe, ceea ce complică urmărirea teoretică a fenomenelor, faţă de cea a fenomenelor în întreruptoarele pneumatice. O oarecare independenţă faţă de intensitatea curentului se obţine prin întreruptoarele cu impuls de ulei, în care uleiul sub presiune este forţat să treacă în zona arcului, analog cu cazul aerului comprimat, în întreruptoare pneumatice.

Stingerea neforţată are loc din cauza efectului static de răcire a atmosferei de hidrogen, care se formează în jurul arcului. Fenomenul se poate urmări, aproximativ, cu ajutorul teoriei difuziunii purtătorilor din arc în mediul înconjurător. Se pot deduce relaţii care dau diametrul coloanei, intensitatea cîmpului axial şi lungimea de rupere, în funcţie de intensitatea curentului, pentru diferite tensiuni şi puteri.

La curenţi mari, sub ulei, apare încă un fenomen care favorizează stingerea şi care s-ar datori, ca şi la întreruperea cu aer comprimat, unuia dintre următoarele efecte:

– Producerea de gaze din zona arcului ar continua şi în pauza scurtă fără curent, datorită capacităţii mari de căldură a bulei de gaze.

– Gaze reci şi mai ales picături şi vapori din lichidul de stingere ar intra în zona arcului şi ar produce acolo, prin mişcări turbulente, o desionizare masivă.

Gazele produse în pauza fără curent s-ar datori expansiunii bulei, în cursul unei mişcări de piston a nivelului de ulei. Aceleiaşi cauze i se datoreşte şi introducerea unor picături de lichid în zona arcului.

Acestе ipoteze pot fi urmărite cu oarecare aproximaţie şi prin calcule, făcînd apel la teoria electronică, rezultatele concordînd suficient de bine cu experienţa.

În lumina acestor teorii generale, fenomenele din întreruptoarele cu expansiune și de convecție se pot lămuri și cantitativ. Aceștia din urmă, prevăzuți cu un piston diferențial, utilizează însăși presiunea arcului și comprimă gazele din jurul coloanei de arc.

D. Criterii generale de proiectare și de construcție a aparatelor electrice

a) Solicitări de regim și solicitări accidentale

51. **Solicitări de regim.** Dimensionarea și alegerea justă a aparatelor electrice, în special a celor de înaltă tensiune, din punct de vedere electric, mecanic și termic, este de cea mai mare importanță pentru exploatarea nestingherită a instalațiilor electrice. Pe de altă parte, aparatele cu un grad de siguranță mai mare sînt mai costisitoare, astfel încît, la dimensionarea și la alegerea aparatajului, condițiile de siguranță și de continuitate în exploatare trebuie să rezulte din bilanțul condițiilor economice.

În general, aparatele trebuie să reziste la toate solicitările care pot să apară în exploatare. Excepție fac unele solicitări la supratensiuni de origine atmosferică, supratensiuni care ar condiționa mărirea nivelului izolației, fără a ține seamă de principiul economic.

Solicitările de regim corespund stării normale de funcționare a instalației. Ele se referă la tensiunea normală de exploatare, la intensitatea nominală pentru care mașinile, aparatele și circuitele au fost dimensionate și pe care o pot suporta fără să se încălzească peste limitele prescrise, cum și la efectele mecanice care apar în exploatarea normală a instalațiilor din cauza forțelor mecanice și electrodinamice.

52. **Solicitări accidentele,** care apar în instalații din cauza unor defectări sau a unor deranjamente (supratensiuni, puneri la pămînt, scurtcircuite etc.) sînt, deobicei, mult mai importante decît cele care pot surveni în regimul normal. La dimensionarea aparatajului, trebuie să se țină seamă de aceste solicitări și să se prevină ca ele să scoată din funcțiune sau să deterioreze elementele instalației. În cazul producerii de supratensiuni, aparatele sînt expuse la solicitări electrice cu valori ale tensiunii care reprezintă uneori multipli de tensiuni normale. Supratensiunile de origine atmosferică, fiind independente de tensiunea de exploatare, pot solicita foarte mult izolația aparatajului și a instalațiilor de joasă și de medie tensiune. De multe ori, nivelul izolației nu se poate alege astfel încît o conturnare să fie exclusă.

Solicitările din partea supraintensităților sînt de natură mecanică și termică. Cele mecanice depind de amplitudinea maximă a intensității curentului, indiferent cît de mică este durata acelui curent. La cele termice, dimpotrivă, durata curentului este de mare importanță.

Constructorul va alege, pentru a reduce tipurile de aparate fabricate, o serie de valori, drept parametri care caracterizează regimul normal și regimurile accidentale prevăzute, și va stabili datele nominale ale aparatului respectiv, fixînd astfel limitele rezistențelor electrice, mecanice și termice.

b) Date principale

53. **Curentul nominal.** Printre principalele mărimi care caracterizează condițiile de funcționare ale aparatelor de conectare și în special ale întreruptoarelor este curentul nominal. Curentul nominal al unui aparat este curentul pentru care sînt calculate condițiile de încălzire și de funcționare în regim permanent; valoarea curentului nominal se specifică pe placa indicatoare a aparatului.

54. **Capacitatea de rupere** reprezintă curentul cel mai mare pe care întreruptorul poate să-l rupă în condiții de întrebuințare determinate, fără deteriorări și fără manifestări exterioare excesive, care se specifică în prescripții.

Capacitatea de rupere a unui întreruptor are o semnificație bine definită, după cum el este prevăzut cu deschidere automată, sau neautomată.

Capacitatea de rupere a unui aparat cu deschidere neautomată se exprimă prin curentul cel mai mare pe care poate să-l rupă în *serviciu normal.*

Capacitatea de rupere a unui aparat cu deschidere automată se exprimă prin două elemente:

— valoarea cea mai mare a curentului pe care-l poate rupe în *serviciul normal;*

— valoarea cea mai mare a curentului pe care-l poate rupe *în caz de scurtcircuit.*

55. **Capacitatea de închidere** a unui aparat se poate exprima prin trei valori de curent:

— curentul cel mai mare pe care îl poate stabili în serviciu normal;

— curentul cel mai mare pe care-l poate stabili la scurtcircuit;

— curentul cel mai mare pe care îl poate suporta în caz de scurtcircuit într-un timp dat.

În cazul normal, în lipsă de alte indicații, capacitatea de închidere a unui aparat neautomat este egală cu capacitatea lui de rupere și, în consecință, corespunde curentului cel mai mare pe care îl poate stabili sau îl poate rupe în serviciu normal, și anume, curentului nominal.

În lipsă de alte indicații, capacitatea de închidere a unui automat este considerată egală cu capacitatea lui de rupere, în caz de scurtcircuit. În lipsă de alte indicații relative la capacitatea de rupere a unui aparat cu deschidere automată, în caz de scurtcircuit, se consideră că el este în stare să rupă un curent de 10 ori mai mare decît curentul nominal, și cel puțin egal cu 500 A.

56. **Puterea de rupere.** Tensiunea circuitului întrerupt, numită și tensiune de revenire, reprezintă valoarea eficace a undei fundamentale a tensiunii, după întreruperea completă a circuitelor sub toți polii aparatului, această tensiune fiind măsurată între bornele aparatului între care tensiunea este cea mai înaltă. În lipsă de altă indicație relativă la tensiunea de revenire, se consideră că ea corespunde cu tensiunea nominală a aparatului.

Construcția și dimensionarea unui aparat de întrerupere este deci condiționată de două elemente principale variind în mod independent:

— Valoarea intensității curentului care corespunde capacității de rupere și de care depind efectele termice și electrodinamice care solicită aparatul.

— Valoarea tensiunii de revenire între contactele întreruptorului care condiționează, între altele, viteza de deplasare și deplasarea maximă a contactelor, în momentul întreruperii curentului.

Din punct de vedere practic, se constată însă că intensitatea curentului de scurtcircuit pe care poate să-l rupă un întreruptor automat, variază cu tensiunea la care lucrează; un întreruptor construit pentru o anumită valoare a curentului și a tensiunii de serviciu, poate să rupă un curent mai mare, dacă lucrează sub o tensiune de serviciu mai redusă. Există însă o limită, reprezentînd valoarea maximă a curentului de rupere și pe care n-o poate depăși, oricare ar fi valoarea tensiunii.

Din această cauză, pentru întreruptoarele automate, în special pentru cele de înaltă tensiune, capacitatea de rupere se exprimă adeseori sub formă de *putere de rupere* în kVA sau MVA, reprezentînd produsul între curentul maxim de rupere

la scurtcircuit, tensiunea nominală și factorul numărului de faze (pentru curent trifazat, $\sqrt{3}$).

În mod normal, întreruptoarele automate de înaltă tensiune sînt împărțite în mai multe clase (serii), corespunzînd unor trepte principale de tensiune. În interiorul unei clase (serii) un întreruptor poate fi folosit în limita puterii lui de rupere, fie pentru tensiunea nominală și curentul de scurtcircuit corespunzător, fie pentru o tensiune mai redusă și un curent de scurtcircuit mai mare.

Din cele expuse mai sus rezultă că, din punctul de vedere al capacității de rupere și de închidere, aparatele electrice de conectare se caracterizează în modul următor:

— Separatoarele sînt complet lipsite de capacitate de rupere și de închidere.

— Întreruptoarele neautomate, contactoarele, ruptoarele, comutatoarele și prizele sînt prevăzute pentru o capacitate de rupere și de închidere corespunzătoare curentului nominal de serviciu și frecvenței de întrerupere specifică aparatului.

— Întreruptoarele automate sînt prevăzute pentru o capacitate de rupere și de închidere corespunzătoare atît curentului nominal, cît și curentului de scurtcircuit, ținînd seamă și de frecvențele respective de întrerupere.

57. **Frecvența întreruperilor.** Un alt element care are un rol foarte important în construcția aparatelor de conectare este *frecvența întreruperilor*. Pentru aparatele cu o frecvență de întrerupere normală, încercările de întrerupere sub curent la care sînt supuse în mod normal, fără a suferi deteriorări sau manifestări exterioare excesive, în vederea verificării puterii de rupere sau de închidere, sînt următoarele:

— pentru capacitatea de rupere în serviciu normal, 200 de întreruperi în 10 serii de cîte 20 de întreruperi la 10 secunde interval, cu cîte o pauză de 30 de minute după fiecare serie;

— pentru capacitatea de rupere la scurtcircuit a aparatelor automate, trei întreruperi la trei minute interval (STAS 553-52).

Încercarea de trei declanșări la scurtcircuit corespunde cazului care este întîlnit adeseori în practică, atunci cînd în lipsa altei indicații asupra caracterului pasager sau persistent al unui scurtcircuit, este nevoie să se constate acest lucru prin două încercări succesive de închidere a întreruptorului, la intervale de cîteva minute. În mod implicit, această încercare constituie o verificare atît a capacității de rupere, cît și a capacității de închidere la scurtcircuit.

Din cele arătate mai sus, rezultă că solicitările la care este supus un întreruptor automat datorită efectelor curentului de scurtcircuit, sînt cu mult mai grave decît cele care apar în serviciul normal. Totuși, efectele mai puțin grave ale întreruperilor în serviciu normal, dar cu o frecvență mai mare, pot antrena deteriorarea aparatului prin repetarea lor, dacă el nu ar fi fost construit și încercat în vederea acestui scop.

În cazul special al contactoarelor și ruptoarelor, care sînt destinate tocmai pentru a produce în mod mecanizat — pe cale electrică sau mecanică — închiderea sau deschiderea unor circuite, frecvența de întrerupere în exploatare este mult mai ridicată. Din această cauză, în lipsă de alte indicații, aceste aparate sînt încercate la 5 000 de întreruperi succesive.

c) Solicitări mecanice

58. **Eforturi electrodinamice.** Cele mai mari solicitări mecanice în instalații și în aparate electrice apar din cauza efectelor electrodinamice ale supraintensităților. Efectele acestor forțe pot să fie: deschiderea violentă a contactelor de separatoare și întreruptoare, ruperea izolatoarelor de susținere sau de trecere.

Forțele apar, între diferiții conductori parcurși de curent, cît și între părțile aceluiași conductor.

Eforturile depinzînd de amplitudinea curenților, ca bază a calculelor de dimensionare se ia valoarea instantanee maximă a curentului de scurtcircuit, adică, la curenți alternativi, amplitudinea curentului inițial.

În curent alternativ, forțele electrodinamice pulsează cu frecvența dublă a rețelei (la $f = 50$ Hz, cu 100 Hz). În sistemele electrice, aceste forțe se pot amplifica prin rezonanță, dacă nu există sau nu se prevăd mijloace de atenuare. În general, orice rezonanță cu frecvența rețelei a părților instalației trebuie evitată, prin stabilirea în consecință a masei sau a elasticității elementelor de instalații.

Eforturile se calculează fie din expresia energiei electromagnetice, fie din legea lui Ampère. În medii magnetice, trebuie să se țină seamă de influența permeabilității.

59. **Calculul forțelor electrodinamice** se începe în modul cel mai util plecînd de la principiul variației energiei magnetice a sistemului, în cazul cînd conductorul respectiv suferă o deplasare virtuală în direcția forței. În acest caz, variația energiei magnetice este egală cu energia mecanică ce apare în sistem, ambele cantități de energie fiind acoperite din energia electrică a surselor care alimentează sistemul.

Rezultă, în general, la o deplasare virtuală a unui conductor:

$$\text{energia electrică:}\quad W_{el} = \int_0^t uI\,dt = I\int_0^t \frac{\partial\Phi}{\partial t}\cdot dt = I\Delta\Phi;$$

$$\text{energia magnetică:}\quad W_{mg} = \frac{1}{2}\,I\Delta\Phi;$$

$$\text{energia mecanică:}\quad W_{mc} = W_{mg} = \frac{1}{2}\,W_{el} = \frac{1}{2}\,I\Delta\,\Phi;$$

(Φ în Wb, I în A, W în J).

Forța care rezultă la o deplasare virtuală Δs (în unități MKS):

$$F = \frac{I}{2}\,\frac{\Delta\Phi}{\Delta s}$$

(F în N*, I în A, Φ în Wb**, s în m).

În unități electromagnetice:

$$F = \frac{I}{2}\,\frac{\Delta\Phi}{\Delta s}\cdot\frac{10^6}{9{,}81}$$

(F în kgf, I în A, Φ în maxwelli, s în cm).

Deformările mecanice, provocate de forțele electromagnetice, sînt de natură să mărească energia magnetică a sistemului. În consecință, conductorii paraleli parcurși de curenți în sens invers se resping, spre a cuprinde un flux cît mai mare. De asemenea, asupra oricărui conductor parcurs de curent acționează o forță în direcție axială, care îl solicită la tracțiune, în funcție de secțiunea sa și de poziția conductorului de întoarcere.

*) Newton.
**) Weber.

Forțele care se aplică conductorilor legați prin contacte mobile, sau de întrerupere, depind de suprafața de contact. La două contacte în serie, cu suprafețe de contact diferite, apare o forță, în direcția contactului cu suprafață mai mare, deoarece, în afară de mărirea fluxului magnetic în întregul circuit apare și o modificare locală a fluxului.

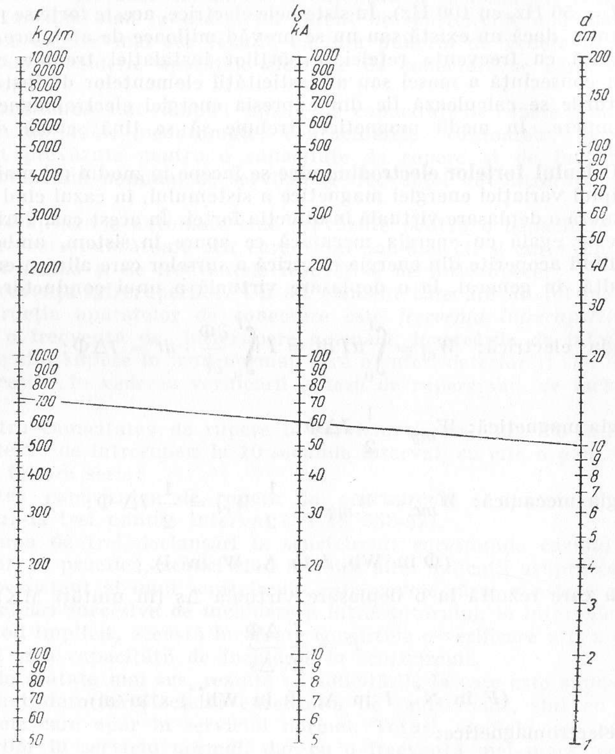


Fig. 35. Efectul mecanic al curentului de scurtcircuit.

Între doi conductori paraleli, a căror distanță între ei d (în cm) este mare în raport cu dimensiunile secțiunii, apare, pe metru liniar, o forță:

$$F = \frac{2I_1 I_2}{d}\cdot 10^{-7}\,[\mathrm{N}] = \frac{2{,}05 I_1\cdot I_2}{d}\cdot 10^{-6}\,[\mathrm{kgf}],$$

unde I_1 și I_2 sînt amplitudinile curenților care trec prin conductori. Dacă $I_1 = I_2 = I$, rezultă:

$$F = \frac{2I^2}{d}\cdot 10^{-7}\,[\mathrm{N}] = \frac{2{,}05\cdot I^2}{d}\cdot 10^{-6}\,[\mathrm{kgf}].$$

Formula este concretizată în nomograma din fig. 35.

Pentru două bare la o distanță de $d = 30$ cm, sprijinite, la o distanță de 1 m, pe izolatoare, rezultă un efort maxim de 425 kgf de fiecare izolator. Considerînd un factor de siguranță egal cu 2, rezultă că izolatoarele trebuie să reziste la vîrf la o forță de încovoiere de 800 kgf. Se vor putea alege deci izolatoare de clasa B, cu un efort minim de rupere de 750 kgf, conform STAS 553—52.

Forța în direcție longitudinală, care se aplică unui conductor rotund cu raza r, la distanța d de conductorul de întoarcere, provine din cîmpul magnetic intern și extern al acelui conductor. Contribuțiile sînt:

din partea cîmpului intern:

$$F_i = \mu_0 \frac{I^2}{2}\quad [\mathrm{N}];$$

din partea celui extern:

$$F_e = \mu_0 I^2 \ln\frac{d}{r}\quad [\mathrm{N}];$$

suma lor fiind:

$$F = F_i + F_e = \mu_0 I^2\left(\frac{1}{2} + \ln\frac{d}{r}\right)\quad [\mathrm{N}]$$

(I în A, F în N, d și r în aceleași unități).

În unități electromagnetice, expresia de mai sus devine:

$$F = I^2\left[\frac{1}{2} + \ln\frac{d}{r}\right]\cdot 1{,}02\cdot 10^{-8}\,[\mathrm{kgf}]$$

(F în kgf, I în A).

Forța se aplică numai conductorului considerat și caută să-l departeze de conductorul care închide circuitul, indiferent la ce distanță se află acela. Pentru un raport $d/r = 60$ și un curent de $I = 80$ kA, rezultă o forță de 272 kgf sau un efort de 350 kgf/cm².

Este important ca în întreruptoare aceste forțe să nu deschidă contactele. Pentru contacte de $r = 0{,}2$ cm, presate în direcția axială, rezultă, la o distanță de $d = 20$ cm a conductorului de întoarcere, și la un curent de 80 kA, o forță de 170 kgf, care tinde să deschidă contactele. Se impun deci măsuri de siguranță, de exemplu contacte solenoidale (fig. 17), care, din cauza unui parcurs elicoidal al curentului în piesele de contact, dau o componentă de presare ambelor contacte și evită astfel deschiderea lor.

Forțele se modifică în cazul contactelor mobile de translație. În cazul cînd contactele se presează perpendicular pe direcția conductorului, forțele sînt corespunzător mai reduse. Contacte avînd forma unor degete (fig. 16) sînt supuse unor forțe care tind să le desparță, forțe care se calculează, aproximativ, cu formula empirică:

$$F = 0{,}70\, I^2 \ln\frac{30}{r}\cdot 10^{-8}\,[\mathrm{kgf}]$$

(r în mm, I în A).

La $I = 10$ kA și $r = 0{,}5$ mm, rezultă o forță de desprindere de 2,9 kgf. Dacă forța de desprindere nu este echilibrată, de cea de apăsare, contactele se pot suda.

La curenţii de scurtcircuit, valoarea maximă a curentului este $I_{i\,max} = \sqrt{2} \times 1{,}8\ I_i$, I_i fiind valoarea eficace a curentului de scurtcircuit iniţial. Deci, valoarea maximă a forţelor electrodinamice este $F_{max} = C \cdot I^2_{i\,max} = 6{,}4\ C\ I^2_{i\,max}$, C fiind o constantă. La curenţi trifazaţi, semnul forţei nu rămîne acelaşi, ci se schimbă în timp, după formula lui B u i l o v :

$$F = 2I^2_{i\,\max} \sin \omega t \left[C_1 \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) + C_2 \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \right].$$

Presupunînd influenţa fazei a treia asupra primei faze neglijabile ($C_2 = 0$), forţa maximă de atracţie a fazei mijlocii este $F_{atr} = 0{,}26\ C_1$, iar cea de respingere $F_{resp} = 0{,}75\ C_1$ (în cartea lui A. B. B u i l o v citată se dau curbe pentru valorile C_1 şi C_2).

S-au studiat şi s-au construit dispoziţii speciale ale căilor de curent în interiorul întreruptoarelor, care reduc sau echilibrează forţele electrodinamice care apar la supraintensităţi. Măsuri în acest sens sînt necesare mai ales la întreruptoarele cu ulei mult, la care traversa are tendinţa de a deschide contactele sub acţiunea forţelor curentului, pentru a mări fluxul cuprins de bucla formată de curent. S-a reuşit, prin construcţii adecvate, să se echilibreze cel puţin forţele asupra contactelor.

d) Solicitări termice

60. **Condiţii de încălzire.** În general, o parte din energia electrică ce trece prin aparatele electrice este transformată în căldură. Condiţiile de disipare a acestei călduri reprezintă unul dintre criteriile fundamentale de dimensionare în electrotehnică. Căldura respectivă se poate considera o pierdere şi, din această cauză, trebuie menţinută în limite admisibile. Se exceptează de la această regulă dimensionarea siguranţelor fuzibile şi a rezistenţelor electrocalorice, deoarece căldura produsă de curent în acestea se utilizează într-un scop bine definit.

Disiparea de căldură trebuie să aibă loc astfel, încît anumite părţi ale aparatelor să nu-şi ridice temperatura peste limitele admise. Foarte expusă este izolaţia din hîrtie şi din materiale textile, care nu suportă fără lăsare de urme, temperaturi peste 70°C. La supraintensităţi, chiar conductorii metalici pot fi periclitaţi prin ridicarea locală a temperaturii, ceeace le poate scădea rezistenţa mecanică sau chiar poate topi metalul. În fine, arcurile electrice care apar în mod accidental în instalaţii au efecte termice foarte puternice, atît la electrozi, cît şi în jurul coloanei arcului.

În tabela 11 sînt date, după B u i l o v, temperaturile de topire ale unor metale care se folosesc drept conductori, iar în tabela 12, temperaturile de topire ale unor aliaje uzuale de lipit.

Tabela 11. Temperaturile de topire ale unor metale de conductori

Metal	Cu	Al	Fe	Alamă	Bronz	Ag	Pb	Sn	Zn
°C	1 083	659	1 500	900	900	967	327	232	419

Tabela 12. Temperaturile de topire ale unor aliaje de lipit

Aliaje de lipit						
	% Pb	80	70	60	40	20
	% Sn	20	30	40	60	80
Temperatura de topire	°C	200	185	190	240	275

Tabela 13. Temperaturile maxime admisibile, pentru elemente constructive ale aparatelor electrice, după GOST

Piesele aparatelor	Temperatura maximă admisibilă de încălzire în °C			
	Regim permanent	În caz de scurt circuit: Oţel	Aluminiu cu aliaje	Cupru cu aliaje
Piesele conductoare şi neconductoare care nu sînt în contact cu izolaţia	110	400	200	300
Piese conductoare izolate şi în contact cu izolaţia. Pentru clasa de izolaţie: O	90	200	200	200
A	105	250	200	250
B	110	300	200	300
C	110	400	200	300
Piese conductoare metalice în ulei	90	250	200	250
Idem, în compund	90	200	200	200
Contactele fixe şi permanente	75	Să nu fie valori mai mari decît pentru piesele conductoare de curent		
Contactele de întrerupere	75	Nu trebuie să aibă loc lipirea		
Uleiul de transformator (pentru toate aparatele, afară de întreruptoare)	90	—	—	—
Idem pentru întreruptoare	75	—	—	—

61. **Principiile calculelor de încălzire.** Cunoaşterea şi calculul prealabil al efectelor termice sînt de cea mai mare importanţă pentru dimensionarea şi construcţia aparatelor. Căldura produsă de curentul electric se calculează din legea Lenz-Joule şi este proporţională cu pătratul curentului, cu rezistenţa porţiunii de circuit considerată şi cu timpul. Regimul nominal de curent trebuie să fie, în orice caz, suportat în mod indefinit fără depăşirea limitelor de temperatură. Solicitările maxime în instalaţii şi aparate apar la scurtcircuite care nu sînt deconectate în timp scurt.

La instalaţiile de curent alternativ se introduce în calcule valoarea curentului staţionar de scurtcircuit, iar ca timp, se ia durata cea mai mare, pînă la separarea scurtcircuitului. În lipsa acestei durate, rezistenţa termică se exprimă de către constructori prin intensitatea care se poate suporta timp de 1,5 sau 10 s. Rezis-

tenţa căilor de curent nu rămîne constantă, ci depinde, în limite largi, de temperatură. La supraîncălziri de scurtă durată se pot atinge temperaturi mari şi în conductorii neizolaţi, care, în general, nu suferă modificări permanente dăunătoare la temperaturi sub 200°C. În fuzibile, efectul termic trebuie urmărit peste temperatura de topire şi de evaporare. La temperaturi mari, mai trebuie luat în considerare faptul că şi capacitatea termică a corpurilor se modifică, din cauză că, atît densitatea, cît şi căldura specifică variază cu temperatura.

Pentru conductori verticali, formulele se schimbă. După Builov, cifra de transmisie se poate calcula din expresia:

$$\alpha_c = 1{,}8 \cdot 10^{-4} (\Theta - \Theta_0)^{0,33} \quad [\text{W/cm}^2\ \text{grd}]$$

cu o aproximaţie de 15–30%.

După Builov, pentru suprafeţe metalice verticale se poate lua

$$\alpha_c = k_c (\Theta - \Theta_0)^{0,25} \quad [\text{W/cm}^2\ \text{grd}],$$

factorul k_c luîndu-se din tabela 14, în funcţie de înălţimea suprafeţei.

În lichide (ulei), valorile cifrei de transmisie se cunosc, în mod aproximativ din cercetări experimentale.

Tabela 14. Valorile factorului k_c

Înălţimea suprafeţei h	cm	5	10	15	20	30	50	100
Factorul k_c	10^{-4} W/cm²	5,4	3,56	3,1	2,7	2,0	2,0	2,0

Partea de *radiaţie* a cifrei de transmisie se calculează, deobicei, din legea lui Ştefan-Boltzmann:

$$\alpha_s = \frac{C}{\vartheta_2 - \vartheta_1}\left[\left(\frac{T_2}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_1}{100}\right)^4\right] \quad [\text{kcal}].$$

Cifra de radiaţie C, care depinde de material şi de natura radiantă a suprafeţei, este 0,2 pentru suprafeţe polisate; 0,46, pentru cele prelucrate fin; circa 1, pentru suprafeţe metalice obişnuite şi creşte la 2,8–3,6, pentru suprafeţe oxidate. Acoperirea suprafeţelor cu lacuri şi vopsele, măreşte coeficientul la 4–4,5.

Pe baza acestor date, se poate calcula o valoare corespunzătoare pentru cifra globală de transmisie în exterior (de disipare) a căldurii: $\alpha = \alpha_c + \alpha_s$.

În cazul cînd temperaturile la care ajung părţile aparatului nu depăşesc 100°C, se poate renunţa la includerea funcţiei de temperatură a cifrei de disipare globală. Valori aproximative constante ale acestei cifre se pot extrage din tabela 15.

Puterile specifice emise pe unitatea de suprafaţă de conductori orizontali prin convecţie şi prin radiaţie se pot citi din diagrama fig. 36, mediul fiind aerul liber, mişcat cu viteza v, uleiul şi apa. În aceste din urmă medii, contribuţia radiaţiei poate fi neglijată. Puterea emisă prin convecţie s-a considerat a corespunde relaţiei empirice:

$$P_c = \text{const} \cdot \frac{\vartheta^{1,25}}{d^{0,25}},$$

în care exponentul diametrului corespunde numai pentru diametre medii. Pentru valori mari, influenţa diametrului dispare, iar pentru valori mici, P_c devine invers proporţional cu d.

Tabela 15. Valori aproximative ale cifrei de transmisie a căldurii

Nr. crt.	Suprafaţa şi caracteristicile ei	$10^{-4}\ \frac{\text{W}}{\text{cm}^2\,{}^\circ\text{C}}$ În aer, avînd circulaţie naturală	În ulei, avînd circulaţie naturală
1	Bare rotunde orizontale de cupru cu diametrul 1...6 cm	1,3...8,5	
2	Bare late de cupru puse pe muchie	6... 9	
3	Suprafaţă de fontă, de oţel sau de fier fin chituită şi acoperită cu vopsea de lac	10...14	
4	Orice suprafaţă acoperită cu lac	12...16	
5	Cilindri de porţelan cufundaţi în cuvă de ulei	—	50...150
6	Bobinaj cu izolaţia de hîrtie	10...12,5	25... 36
7	Pachet de tablă de fier	10...12,5	70... 90

Calculele de încălzire pentru dimensionarea elementelor din aparatele şi din instalaţiile electrice se fac în diferite ipoteze. În cazul conductorilor liniari cabluri, înfăşurări (linii, etc.), de secţiune mai mult sau mai puţin uniformă, se presupune că în direcţia axială nu apar diferenţe apreciabile de temperatură. Se calculează temperatura pe unitatea de lungime şi disiparea radială a temperaturii. Din contra, la schimbări substanţiale ale secţiunii, la contacte şi legături, apar surse suplimentare de căldură, care se iau în considerare în mod separat.

În regim nominal permanent, toată căldura produsă în conductori trebuie disipată în afară, astfel încît temperaturile elementelor să nu depăşească limitele impuse prin prescripţii.

La scurtcircuite, din cauza duratei scurte a fenomenelor, se poate presupune că nu are loc nici o disipaţie şi că, deci, toată căldura se înmagazinează în conductori.

62. **Încălzirea în regim nominal** se poate determina din bilanţul termic al conductorului parcurs de curent. În forma cea mai simplă de conductor metalic cilindric de o lungime mare în raport cu dimensiunile secţiunii, încălzirea staţionară se poate deduce din ecuaţia:

$$\Theta = \frac{j^2\rho}{\alpha}\,\frac{S}{P} \quad [°\text{C}],$$

în care: Θ este supratemperatura faţă de mediul ambiant, în °C;
- j — densitatea de curent, în A/mm²;
- ρ — rezistivitatea, în $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;
- α — coeficientul de disipaţie superficială a căldurii, în $\frac{\text{W}}{\text{cm}^2 \times \text{grd.}} = 8{,}61 \cdot 10^4\ \text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{grd.}$;
- S — suprafaţa exterioară a conductorului pe unitatea de lungime, în cm²;
- P — perimetrul conductorului, în cm.

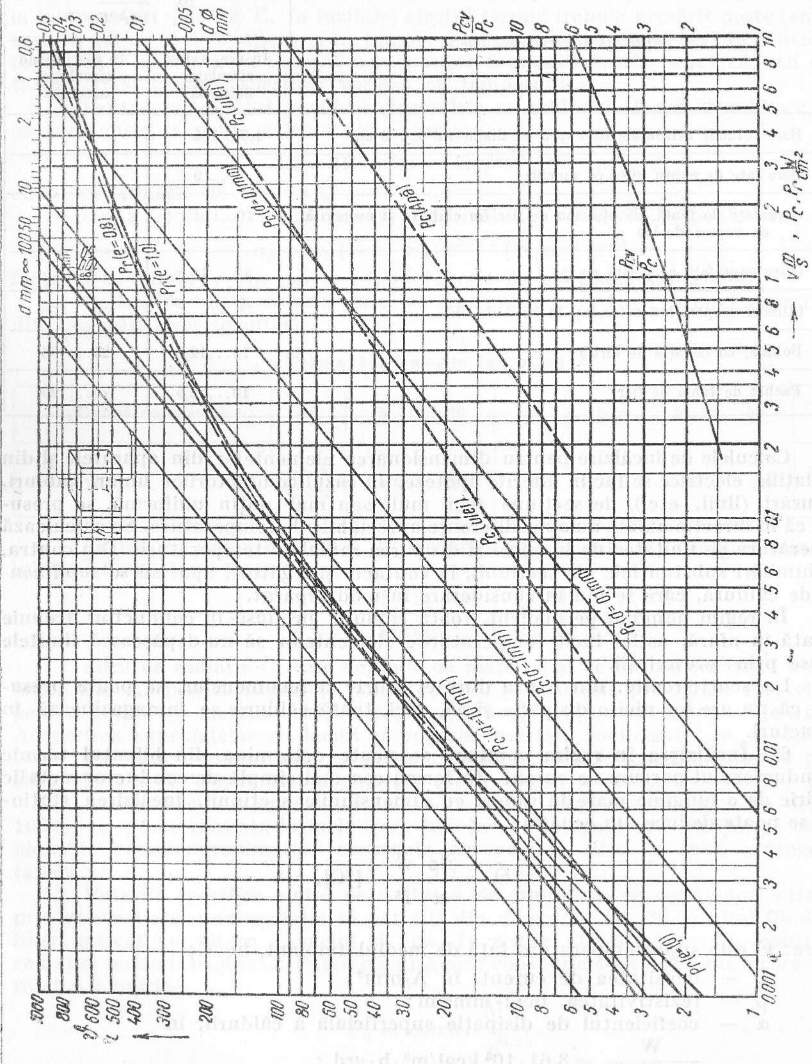


Fig. 36. Disipația totală a căldurii a conductorilor orizontali și a suprafețelor plane.

Pentru secțiuni rotunde, formula devine:

$$\Theta = j^2 \frac{\rho d}{4\alpha},$$

unde d este diametrul, în cm.

Variația rezistivității cu temperatura pînă la 100°C, se obține din formula liniară:

$$\rho = \rho_0 (1 + \beta\vartheta),$$

unde coeficientul de temperatură are, aproximativ, valoarea $\beta = 0,004$, pentru toate metalele.

Căldura se transmite în exterior prin convecție și prin radiație, după legile cunoscute, care sînt diferite, după condițiile geometrice, de temperatură etc. și depind de foarte mulți parametri. O formulă teoretică simplă nu se poate da pentru valoarea cifrei globale de transmisie. Practic, se recurge la aproximații bazate pe teorie și pe experiențe, mai ales pentru partea de convecție.

Pentru conductorii cilindrici cu diametrul d, plasați orizontal, contribuția convecției naturale la temperaturi normale și diferențe mici de temperatură se poate aproxima după Avramescu prin relația empirică:

$$\alpha = 1,162 \cdot 10^{-4} \left(4 + \frac{40}{d}\right) \left[\frac{\text{W}}{\text{cm}^2\ \text{grd.}}\right] \quad (d, \text{ în mm}).$$

Coeficientul liniar de temperatură al acestei expresii este $\beta = 1,75 \cdot d^{0,15} \cdot 10^{-3}$; deci:

$$\alpha = 1,162 \cdot 10^{-4} \left(4 + \frac{40}{d}\right) (1 + 1,75 \cdot d^{0,15} \cdot 10^{-3}\, \vartheta) \left[\frac{\text{W}}{\text{cm}^2\ \text{grd.}}\right].$$

În diagramă s-au trecut și valori ale disipației prin convecție pentru suprafețe plane verticale, orizontale (superioare și inferioare), în funcție de dimensiunile lor. Disipația prin radiație este dată pentru corpul negru ($e = 1$), cum și pentru suprafețe metalice oxidate ($e = 0,8$), conform legii lui Ștefan-Boltzmann. Disipația prin convecție a suprafețelor plane de înălțimea h este dată, pentru orientări diferite, de relația empirică:

$$P_c = \text{const} \cdot \frac{\vartheta^{1,25}}{h^{0,25}}.$$

Influența mișcării aerului se poate citi din curba desenată în colțul drept al diagramei, în funcție de viteza aerului (vînt sau ventilație).

La folosirea diagramei este de notat că $P_c + P_r = \vartheta\alpha$, deci legătura cu intensitatea care produce o anumită temperatură se obține, aproximativ, prin:

$$I = \sqrt{\frac{24,7 \cdot d^3\, P_{c+r}}{\rho}}.$$

Din diagramă rezultă clar că puterea P_r depinde de natura suprafeței, dar este independentă de dimensiuni, pe cînd pentru P_c este valabil tocmai contrariul. Din această cauză, formulele empirice, ca și cea pe baza căreia s-a calculat nomograma, nu pot să aibă o valabilitate generală și analiza este necesară.

Comparînd critic rezultatele cercetărilor, se poate stabili pe cale empirică următoarea formulă care dă o relație aproximativă între supratemperatură, inten-

sitatea curentului, rezistivitate şi diametrul firelor conductoare întinse orizontal în aer:

$$I = 0{,}103\ \vartheta^{0{,}57 + \frac{\vartheta}{13\,000}} \sqrt{\frac{4d^{2{,}33} + d^2}{\rho}}\,.$$

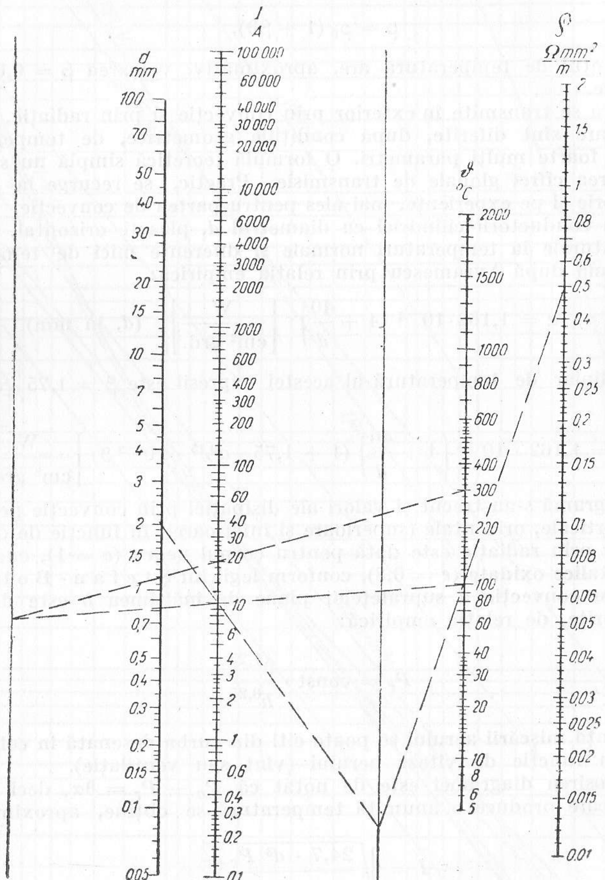


Fig. 37.— Nomogramă pentru calculul încălzirii conductorilor electrici cu disipaţie de căldură.

Pentru a uşura calculele cu această formulă, se dă în fig. 37 o nomogramă care permite uşor să se obţină valoarea uneia dintre cele patru mărimi dacă se cunosc trei dintre ele.

63. **Încălzirea la scurtcircuit** are loc într-un timp atît de scurt, încît disipaţia de căldură spre exterior poate fi neglijată. În acest caz, variaţia în timp a supratemperaturii conductorilor este dată de ecuaţia:

$$\frac{d\vartheta}{dt} = j^2\,\frac{\rho}{\gamma c}\,,$$

în care γ este densitatea;

c — căldura specifică, în J/grd.

Dacă valorile ρ, γ, c se consideră constante, integrarea dă imediat supratemperatura după un timp t:

$$\vartheta = j^2\,\frac{\rho}{\gamma c}\cdot t \qquad [°C],$$

ca o funcţie liniară de timp (v. fig. 38, curba *1*).

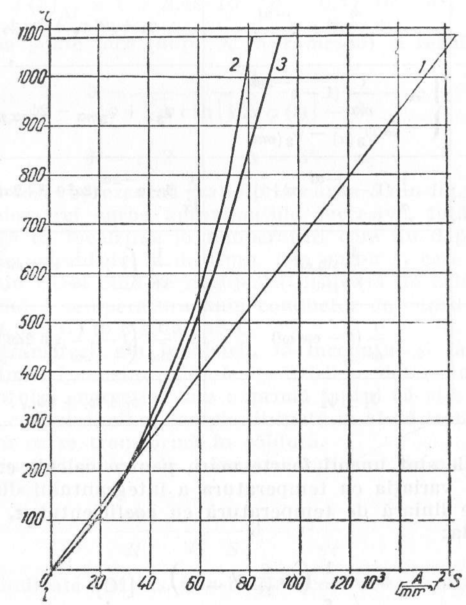


Fig. 38. — Curbe de încălzire a conductorilor din Cu fără disipaţie de căldură.

De fapt, însă, densitatea de curent este o funcţie de timp, iar restul coeficienţilor variază cu temperatura, astfel încît, în mod strict, integrarea trebuie să se facă după formula:

$$\int_0^{\vartheta}\left(\frac{\gamma c}{\rho}\right)_{\vartheta}\cdot d\vartheta = \int_0^{t} j^2\,dt.$$

Integrala de timp $\varphi(t)$ din membrul al doilea se calculează ușor (v. tabela 16).

Tabela 16. Efectul termic al curenților de diferite forme

Nr. crt.	$\frac{i(t)}{i_0} = f(t)$	$\psi(t) = \int_0^t f(t)\,dt$	$\varphi(t) = \int_0^t f^2(t)\,dt$	$\varphi(\infty)$
1	i	t	t	
2	$e^{\alpha t}$	$\frac{1}{\alpha}(e^{\alpha t} - 1)$	$\frac{1}{2\omega}(e^{2\alpha t} - 1)$	
3	$e^{-\alpha t}$	$\frac{1}{\alpha}(1 - e^{-\alpha t})$	$\frac{1}{2\alpha}(1 - e^{-2\alpha t})$	$\frac{1}{2\alpha}$
4	$1 + me^{-\alpha t}$	$t + \frac{m}{\alpha}(1 - e^{-\alpha t})$	$\varphi_1 + m^2\varphi_3 + 2m\psi_2$	
5	$e^{-\alpha t} - e^{-m\alpha t}$	$\left\{\begin{array}{l}\psi_3 - \frac{1}{m\alpha}(1 - e^{-m\alpha t}) = \\ = \psi_{3(\alpha)} - \psi_{3(m\alpha)}\end{array}\right.$	$\varphi_{3\alpha} + \varphi_{3m\alpha} - 2\psi_{3\alpha,m\alpha}$	$\frac{1}{2\alpha}\frac{(m-1)^2}{m(m+1)}$
6	$\alpha te^{-\alpha t}$	$\frac{1}{\alpha}[1 - e^{-\alpha t}(\alpha t + 1)]$	$\frac{1}{4\alpha}[1 - e^{-2\alpha t}(2\alpha^2 + t^2 + 2\alpha t + 1)]$	$\frac{1}{4\alpha}$
7	$\cos\omega t$	$\frac{1}{\omega}\sin\omega t$	$\frac{1}{2\omega}\left(t + \frac{1}{2\omega}\sin 2\omega t\right)$	
8	$\sin\omega t$	$\frac{1}{\omega}(1 - \cos\omega t)$	$\frac{1}{2\omega}\left(t - \frac{1}{2\omega}\sin 2\omega t\right)$	
9	$f_1 \pm f_2$	$\psi_1 \pm \psi_2$	$\varphi_1 + \varphi_2 \pm 2\psi_{1,2}$	

Cum încălzirile sînt uneori foarte mari, pentru calcule exacte ar trebui să se ia în considerare variația cu temperatura a integrantului din stînga. Dacă se presupune o funcție liniară de temperatură cu coeficientul ε, supratemperatura este dată de formula:

$$\vartheta = \frac{1}{\varepsilon}\left(e^{j_0 \frac{\rho}{\gamma c} \varepsilon t} - 1\right) \quad [^\circ C].$$

Cu valorile uzuale ale coeficienților rezultă curba *2* din fig. 38.

Funcția de temperatură este de fapt mai complicată și dată după A v r a m e s c u pentru ρ de formulele:

$$\frac{\rho}{\rho_0}\,\mathrm{Cu} = 1 + 4{,}241 \cdot 10^{-3}\,\vartheta + 0{,}453 \cdot 10^{-6}\,\vartheta^2;$$

$$\frac{\rho}{\rho_0}\,\mathrm{Al} = 1 + 3{,}867 \cdot 10^{-3}\,\vartheta + 1{,}10 \cdot 10^{-6}\,\vartheta^2.$$

Totodată însă, căldura specifică c are și ea o variație cu temperatura, care se poate exprima, pentru cupru și aluminiu, în formulele:

$$\frac{c}{c_0}\,\mathrm{Al} = 1 + 3{,}35 \cdot 10^{-4}\,\vartheta + 2{,}96 \cdot 10^{-8}\,\vartheta^2;$$

$$\frac{c}{c_0}\,\mathrm{Cu} = 1 + 3{,}80 \cdot 10^{-4}\,\vartheta + 5{,}0 \cdot 10^{-8}\,\vartheta^2.$$

Introducînd aceste valori în expresia integrantului și ținînd seamă de dilatația termică a conductorului, rezultă, pentru cupru și aluminiu, o funcție de temperatură de tipul:

$$f(\vartheta) = 1 + \varepsilon_1\vartheta - \varepsilon_2\vartheta^2$$

și anume:

$$f(\vartheta)_{\mathrm{Cu}} = 1 + 3{,}85 \cdot 10^{-3}\,\vartheta - 0{,}75 \cdot 10^{-6}\,\vartheta^2;$$

$$f(\vartheta)_{\mathrm{Al}} = 1 + 3{,}49 \cdot 10^{-3}\,\vartheta - 0{,}47 \cdot 10^{-6}\,\vartheta^2.$$

Integrarea se poate face (după A. Avramescu) și rezultă soluția:

$$\vartheta = \frac{1}{\sqrt{\Delta}\,\mathrm{cth}\left[\sqrt{\Delta}\,\varphi(t)\right] - \delta},$$

unde:

$$\delta = \varepsilon_1/2 \qquad \Delta = \delta^2 + \varepsilon_2.$$

Rezultatul a fost reprezentat grafic prin curba *3* din fig. 38, evidențiindu-se din comparația celor trei curbe aproximațiile succesive, față de situația reală. Din curba *1* rezultă că încălzirea la temperaturi care nu depășesc 200° depinde numai de densitatea curentului și de timp. Din curba *3*, care se apropie cel mai mult de realitate, în cazul cînd se neglijează disipația de căldură, rezultă că un curent de 10 kA ridică temperatura unui conductor de cupru de 100 mm² în 3 s la 195°C; în 5 s, la 388°C; în 8 s, la 840°C.

64. **Stările transitorii ale încălzirii,** la începutul și la sfîrșitul regimului normal sau la schimbări substanțiale ale încălzirii se determină integrînd ecuația diferențială a bilanțului energetic, care exprimă faptul că atît energia calorică, ce ridică temperatura corpului, cît și energia disipată în afară trebuie să fie acoperite de energia electrică ce se transformă în căldură.

Pentru conductorii liniari de o lungime suficient de mare față de secțiune, ecuația diferențială este:

$$\frac{d\vartheta}{dt} + \frac{\alpha}{\gamma c}\frac{P}{S}\vartheta = j^2\frac{\rho}{\gamma c},$$

notațiile fiind cele indicate mai sus. Considerînd coeficienții constanți și introducînd expresiile:

— intensitatea încălzirii $A = j_0^2\frac{\rho}{\gamma c}$;

— timpul numeric $\tau = \frac{t}{T} = \frac{\alpha t P}{\gamma c S}$,

rezultă soluția cunoscută:

$$\vartheta = \Theta(1 - e^{-\tau}),$$

care dă în acest caz curba de încălzire, curba de răcire fiind complimentară acesteia.

Temperatura staționară este:

$$\Theta = A T_1 = j_0^2 \frac{\rho}{\alpha} \cdot \frac{d}{4}.$$

Dacă densitatea de curent variază cu timpul după funcția $j = j_0 f(t)$, temperatura devine:

$$\vartheta = e^{-\tau} \left[A_0 \int_0^t f^2(t)\, e^{\tau}\, dt + C \right],$$

constanta C rezultînd din condiția inițială.

Considerînd o variație liniară a expresiei A cu temperatura, coeficientul de temperatură fiind ε, soluția devine:

$$\vartheta = \frac{\Theta}{1 - \varepsilon\Theta} \left(1 - e^{-(1-\varepsilon\Theta)\tau}\right),$$

de unde rezultă că expresia temperaturii staționare inițiale are un rol important în calcule.

Se poate lua în considerație după A. Avramescu o variație liniară cu temperatură a constantei de timp și o variație cuadratică a expresiei A. Ecuația diferențială devine:

$$\frac{d\vartheta}{dt} + \frac{1 + \alpha_1 \vartheta}{T_1} = A_0 (1 + \varepsilon_1 \vartheta - \varepsilon_2 \vartheta^2),$$

iar soluția ei:

$$\vartheta = \frac{\Theta}{T\sqrt{D}\, \mathrm{cth}\,(t\sqrt{D}) - B},$$

unde:

$$D = \frac{1}{4}\left(\varepsilon_1 A_0 - \frac{1}{T_1}\right)^2 + A_0 \left(\frac{a_1}{T} + \varepsilon_2 A_0\right),$$

iar:

$$B = \frac{1}{2T_1} (\varepsilon_1 \Theta - 1).$$

Cu aceste formule, încălzirea unui conductor se poate urmări cu exactitatea pe care o permite cunoașterea comportării materialelor la temperaturile care se produc.

În fig. 39 au fost reprezentate curbe de încălzire fără disipație de căldură, pentru conductori din următoarele metale: Cu, Ag, Al, Alamă, Fe, Sb și Pb. În ordonată se află supratemperaturile ϑ față de un mediu ambiant de 0°C, iar în abscisă, integrala de timp a pătratului densității de curent, adică efectul termic. Pentru o supratemperatură dată, acesta descrește în ordinea metalelor enumerate. Dacă se pleacă de la o temperatură mai ridicată cu încălzirea fără disipație, se face diferența efectelor termice în intervalul de temperatură dat, sau din intervalul de temperaturi se stabilește efectul termic necesar, după felul cum se pune problema. Din diagramă se poate stabili, în orice caz, efectul termic necesar pentru a topi un conductor de temperatură dată. Astfel, pentru a topi un conductor de Cu de 30°C, este necesar un efect termic de aproximativ $92 \cdot 10^3$ A² s/mm⁴, iar pentru a topi un fir de Ag de 260°C, un efect termic de circa $40 \cdot 10^3$ A²s/mm⁴.

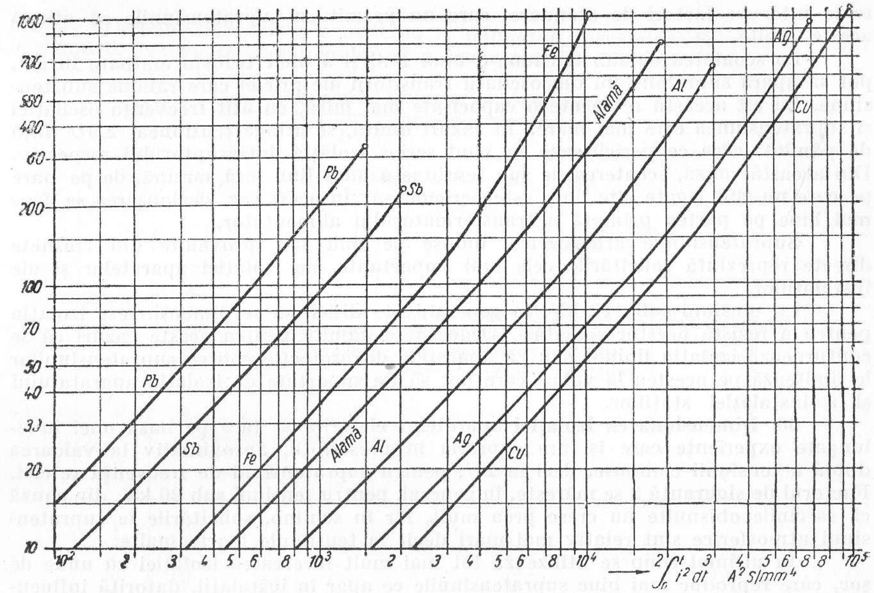


Fig. 39. – Curbe de încălzire fără disipație cu căldură pentru cîteva metale.

e) Solicitări electrice

65. Cauzele solicitărilor dielectricului. După felul și după natura tensiunilor care pot să apară în exploatare, există diferite solicitări ale dielectricului.

Punerea și menținerea aparatelor și a instalațiilor sub tensiunea normală de exploatare reprezintă o solicitare a dielectricului care trebuie să fie suportată indefinit, deci cu un mare factor de siguranță. În condiții de regim staționar, tensiunea care se aplică izolației este tensiunea de fază U_f, aceasta fiind în rețelele monofazate 1/2, și în cele trifazate, $1/\sqrt{3}$ din tensiunea între faze U, la care se adaugă o variație de +10 % a tensiunii, variație care poate să intervină în exploatare.

Din cauza unor fenomene transitorii care intervin, atît în cursul unor modificări normale ale conexiunilor rețelei (scoaterea sau punerea sub tensiune a unor linii, cabluri, transformatoare etc.), cît și la schimbări accidentale (puneri la pămînt, scurtcircuite), apar supratensiuni staționare sau transitorii care solicită izolația aparatelor mai mult decît în regim normal. Toate aceste supratensiuni care sînt de origine internă, trebuie să fie suportate de izolația aparatelor și a instalației.

La puneri la pămînt a unei faze, în rețele trifazate cu neutrul izolat apare tensiunea compusă între fazele fără atingere și pămînt. În rețele cu neutrul legat la pămînt încă pot apărea supratensiuni pe fazele fără atingere, și care pot să întreacă cu 60 % tensiunea de fază.

Supratensiuni mult mai mari și care, practic, ating 2,6U, se pot produce prin arcuri intermitente la pămînt. Calculele teoretice demonstrează că supratensiunile respective pot să atingă amplitudini de scurtă durată, de 4,3U dar în rețelele

reale intervin factori de atenuare, care nu permit ca supratensiunile să atingă aceste limite.

La scoaterea de sub tensiune a unor linii și a unor transformatoare în gol, pot să apară supratensiuni din oscilații transitorii ale rețelei care rămîne sub tensiune. Cu cît această rețea are o capacitate mai mică, cu atît frecvența oscilației și supratensiunea este mai mare. În cazuri limită, se atinge tensiunea $2{,}9U$ față de pămînt, ceea ce periclitează în mod serios izolația întreruptorului respectiv. Din această cauză, scoaterea de sub tensiune a unor linii fără sarcină, de pe bare pe care nu sînt legate alte linii, este periculoasă. În acest caz, declanșarea se face mai bine pe partea primară a transformatorului alimentator.

Supratensiunile atmosferice, induse pe linii sau provenite din trăsnete directe reprezintă solicitările cele mai importante ale izolației aparatelor și ale instalațiilor.

La tensiuni sub 110 kV, în general, este dificil să se dimensioneze izolația pentru a rezista acestor solicitări. Deaceea se admite pentru aceste cazuri că se conturnează izolația liniilor sau că aparatele de protecție contra supratensiunilor le limitează pe acestea la valori care pot să fie suportate de izolația aparatajului și a instalației stațiilor.

66. **Dimensionarea izolației** aparatelor electrice se face pe baza unei îndelungate experiențe care își are expresia în prescripții, aproximativ la valoarea dublă a tensiunii compuse, deci la $2U$, pentru supratensiuni de frecvența rețelei. Factorul de siguranță 2 se mărește, în general, pentru tensiuni sub 20 kV, din cauză că sarcinile obișnuite nu cresc prea mult, iar în schimb, solicitările la supratensiuni atmosferice sînt relativ mai mari decît la tensiunile foarte înalte.

În ultimul timp se utilizează tot mai mult încercarea izolației cu unde de șoc, care reproduc mai bine supratensiunile ce apar în instalații, datorită influențelor atmosferice și fenomenelor transitorii. Izolația aparatelor se mai protejează adesea prin eclatoare cu vîrfuri montate în paralel cu izolația care prezintă însă desavantajul de a întîrzia conturnarea.

f) Rolul prescripțiilor

67. **Prescripțiile și strandardele** au rolul de a fixa, pe de o parte, o serie cît mai redusă de parametri fundamentali pentru aparate (tensiuni, curenți, puteri de rupere etc.) și, pe de altă parte, de a fixa condiții tehnice și de a prescrie probe de calitate care să reproducă, pe cît se poate mai bine, solicitările care apar în exploatare.

Pentru a putea formula aceste condiții, prescripțiile și standardele trebuie să definească precis noțiunile și să fixeze terminologia folosită. Noțiunile și definițiile se referă la fenomenele care apar la conexiuni fără sarcină, sub sarcină și la suprasarcină, la felul contactelor, la clasificarea aparatelor (piese de contact, declanșoare, mecanisme de comandă și de manevră etc.), la parametrii electrici și de timp (tensiuni, curenți, distanțe de conturnare, parametri de declanșare, timpul propriu etc.).

Din punctul de vedere al tensiunii, prescripțiile sînt, deobicei, diferite pentru aparatele pînă la 1 kV și pentru aparatele de înaltă tensiune (la tensiuni peste 1 kV). Anume, pentru aparate de manevră pînă la 1 kV există, în general, prescripții și standarde separate, pe cînd aparatele de manevră de înaltă tensiune se înglobează în prescripția sau standardul general pentru toate aparatele de înaltă tensiune.

Prescripțiile fixează, pentru aparatele de conectare, seria de tensiuni și de intensități nominale, tensiunile declanșoarelor și tensiunile înfășurărilor alimentate din surse auxiliare. Relativ la construcția aparatelor se standardizează dimesiunile bornelor și ale legăturilor exterioare, distanțele minime de conturnare

(tabela 17), felul manevrării și punerea la pămînt a carcaselor. Se prescriu felul declanșării, rezistența izolatoarelor și a carcaselor etc.

Tabela 17. Distanțe de conturnare

1	2	3	4	5	6
	Distanțe de conturnare, în mm				
	În aer			Sub ulei, numai pentru disjunctoare	
Tensiune de serie	*a* pentru aparate[2]) de interior	*b* pentru aparate de exterior	*c* pentru eclatoare de protecție [2])	*d* față de pămînt, de suprafața uleiului, între conductor și între conductorii unei faze separați, exceptînd contactele	*e* dela contactele fixe la suprafața uleiului
kV	față de pămînt între conductori și între conductorii unei faze separații [3])				
1	40	—	—		
3	75	—	—		—
6 [1])	100	—	—	40	90
10	125	180	110	50	100
20	180	260	170	60	120
30	260	360	235	90	180
45	360	470	330	120	240
60	470	580	420	—	—
110	800	1 000	750		
150	—	1 450	1 000		
220	—	2 200	1 450		
400	—				

[1]) Numai pentru părți închise sau capsulate. În astfel de aparate se vor utiliza numai materiale izolante deosebite, de calitate superioară.

[2]) La disjunctoare de exterior cu o cuvă, ale căror izolatoare au eclatoare de protecție, distanța de conturnare dintre conductori va fi *c*. Între conductorii unei faze separați această distanță va fi *b*.

[3]) La separatoare și disjunctoare-separatoare se va mai ține seamă de dispozițiile privind tensiunea de conturnare.

[4]) Aceste distanțe de conturnare nu sînt valabile pentru aparate auxiliare sub ulei fără influența arcului electric.

Pentru siguranțe fuzibile, se prescriu intensitățile nominale, cum și intensitățile la care fuzibilul trebuie să nu se topească după o oră.

Se prescriu metodele de măsură și de control ale caracteristicilor, probele de încălzire, de tensiune și încercarea puterii de rupere la întreruptoare. Pentru aceasta, întreruptoarele sînt supuse anumitor cicluri la care trebuie să reziste, fără alte deteriorări decît perlarea contactelor de rupere a arcului.

Aparatele de conectare de înaltă tensiune se înglobează, în general, în prescripțiile generale pentru construcția, încercarea și utilizarea aparatelor de înaltă tensiune din stații de conexiune și de transformare. Pentru aceasta se mai prevăd, afară de definițiile și condițiile de mai sus, puterea nominală de rupere (tabela 17), intensitatea dinamică (de anclanșare) și se stabilesc intensitățile nominale ale declanșoarelor și ale releelor secundare. Condițiile de încercare se fixează în funcție de tensiunea nominală și de puterea de rupere a aparatelor.

Constructorul găseşte în prescripţii şi în standarde parametrii principali de la care trebuie să pornească la calculul, la dimensionarea şi la construcţia aparatelor. Metoda de stingere a arcului rămîne, în general, la dispoziţia constructorului. Diferite soluţii în această privinţă se dau în capitolul despre construcţia aparatelor de conectare de înaltă tensiune.

APARATE ELECTRICE DE CONECTARE DE JOASĂ TENSIUNE (pînă la 1000 V inclusiv)

E. Generalităţi şi definiţii

68. **Clasificare.** După cum s-a arătat în prima parte a acestui capitol, aparatele de conectare de joasă tensiune, care pot servi uneori şi ca aparate de protecţie, trebuie examinate separat de cele de înaltă tensiune, deoarece prezintă caracteristici care le deosebesc esenţial de restul aparatelor, construite pentru tensiuni nominale mai mari decît 1 kV.

Deasemenea, s-a arătat în prima parte a acestui capitol că aparatele de conectare se clasifică, nu numai după criteriul tensiunii nominale, ci şi din următoarele puncte de vedere:

α) *După rolul pe care îl au în stabilirea, în întreruperea sau în comutarea curenţilor* unor circuite, există:

— întreruptoare şi separatoare;
— contactoare şi ruptoare;
— comutatoare şi controlere;
— prize şi conectoare.

Afară de aceste categorii de aparate, mai trebuie menţionate *aparatele de protecţie*, care determină declanşarea şi anclanşarea aparatelor de conectare automate, cuprinzînd:

— *declanşoarele* electromagnetice sau termice, care provoacă declanşarea unui întreruptor automat printr-o *acţiune mecanică* de deblocare a mecanismului acestuia;

— *releele*, electromagnetice sau termice, care prin *acţiunea electrică* a contactelor lor provoacă deschiderea, închiderea sau modificarea unuia sau mai multor circuite electrice, atunci cînd într-un circuit de comandă se îndeplinesc anumite condiţii. Prin aceasta, se poate acţiona un declanşor, provocînd astfel *indirect* deschiderea unui circuit;

— *siguranţele fuzibile*, care provoacă deschiderea circuitelor în care au fost intercalate. Acestea sînt în acelaşi timp şi *aparate de conectare* (cu rolul numai de deconectare), dat fiind că, la depăşirea curentului pentru care au fost calibrate, ele se topesc, provocînd deschiderea circuitului în care sînt înserate.

Declanşoarele şi releele, formînd obiectul unui capitol separat, se vor descrie aici numai acele aparate care fac parte integrantă din întreruptoarele automate de joasă tensiune, determinînd însăşi funcţionarea acestora şi care, deci, nu pot fi studiate separat de ele.

În ceeace priveşte siguranţele, ca fabricaţie şi ca elemente de montaj, ele nu pot fi considerate separat de celelalte aparate de conectare de joasă tensiune, astfel încît trebuie examinate odată cu acestea.

β) *După frecvenţa manevrării.* Aparatele de conectare de joasă tensiune se împart în aparate cu funcţionare *permanentă* (cu regim permanent), în aparate cu acţionare *rară* şi *frecventă*. Ultimele două categorii de aparate se subîmpart în:

— aparate cu frecvenţă de manevrare mică (zilnică), cu circa o manevrare pe oră;

— aparate cu frecvenţă de manevrare medie (orară), cu 2—60 manevrări pe oră;

— aparate cu mare frecvenţă de manevrare (minutară), cu 61—600 manevrări pe oră;

— aparate cu foarte mare frecvenţă de manevrare, cu peste 600 manevrări pe oră.

γ) *După destinaţia aparatelor:* pentru curenţi intenşi (tari) şi pentru curenţi slabi (utilizări de telecomunicaţii, telecomenzi, protecţii). Se vor descrie în cele ce urmează numai aparatele din prima categorie.

δ) *După performanţele contactelor.* Şi aici se disting contacte pentru curenţi intenşi şi pentru curenţi slabi, cu observaţiile de la aliniatul precedent.

ε) *După felul manevrării.* Acesta reprezintă cel mai important criteriu de clasificare a aparatelor de conectare de joasă tensiune.

S-a arătat mai înainte că, din acest punct de vedere, se disting:

— *aparate neautomate* sau cu *manevrare voită*, cuprinzînd toate aparatele de conectare propriu zisă, menţionate la punctul α. Cu acestea, operaţiile de conectare şi de deconectare se efectuează dependent de voinţa omului, fie direct, prin acţionare manuală, fie indirect, prin acţionare mecanică sau electrică, comandată de la distanţă;

— *aparate automate*, care execută una sau mai multe operaţii prevăzute, printr-o acţiune proprie (independent de voinţa omului), provocată de modificarea accidentală a anumitor mărimi fizice într-un circuit electric, ceea ce face necesară funcţiunea de protecţie a acestor aparate.

ζ) În sfîrşit, o clasificare caracteristică pentru aparatele de conectare de joasă tensiune este aceea după *modul lor de protejare*, distingîndu-se:

— aparate în execuţie neprotejată (deschisă);
— aparate în execuţie protejată (contra picăturilor);
— aparate în execuţie închisă normală;
— aparate în execuţie capsulată;
— aparate în execuţie antideflagrantă.

69. **Caracteristicele aparatelor.** Aparatele de conectare de joasă tensiune sînt caracterizate prin următoarele date:

α) *Felul funcţionării* (frecvenţa de manevrare).

β) *Felul protejării.* Ambele moduri de caracterizare au fost definite în paragraful precedent.

γ) *Tensiunea nominală.* Există aparate dimensionate pentru tensiunile nominale standardizate de 250, 380 şi 500 V. Se mai construiesc aparate şi pentru tensiuni nestandardizate de 750 (800) şi 1 000 V.

δ) *Curentul nominal.* Valorile standardizate pentru acesta sînt 10 A, 25 A, 60 A, 100 A, 200 A, 350 A, 600 A, 1 000 A; aceste valori se depăşesc pentru întreruptoare rotative şi comutatoare pentru instalaţii de iluminat, buşoane (fuzibile) de siguranţă şi fişe de prize, după cum se va arăta mai departe.

De asemenea, valoarea nominală de 1 000 A se depăşeşte pentru întreruptoarele automate, mai ales în curent continuu.

ε) *Capacitatea de rupere* (în A). După cum s-a arătat în prima parte a capitolului, există:

— aparate lipsite de capacitate de rupere (separatoare);

— aparate cu capacitate de rupere în serviciu normal (avînd capacitatea de rupere egală cu curentul nominal sau diferită de acesta). În această categorie intră toate aparatele cu manevrare voită, cu excepţia separatoarelor;

— aparate cu capacitate de rupere la scurtcircuit. În această categorie intră siguranţele fuzibile şi toate întreruptoarele automate (respectiv disjunctoarele şi conjunctoarele).

Printre acestea din urmă, se pot distinge:
— aparate automate de categorie ușoară, cu capacitate de rupere pînă la 40 A;
— aparate de categorie semigrea, cu capacitate de rupere pînă la 1 200 A;
— aparate de categorie grea, cu capacitate de rupere peste 1 200 A (pînă la 4 000 A și chiar mai mult).

Uneori, aparatele de conectare de joasă tensiune sînt caracterizate și prin *puterea* lor de rupere în kVA, rezultînd din înmulțirea curentului de rupere cu tensiunea nominală și cu factorul de fază. Această caracteristică însă este utilizată deobicei la întreruptoarele de înaltă tensiune.

ζ) *Numărul de poli*: de la unu la patru.

Condițiile generale pe care trebuie să le satisfacă aparatele de conectare pînă la 1000 V și 3000 A sînt prevăzute de STAS 553—52.

70. **Considerații asupra planului de tratare.** În cele ce urmează, diferitele aparate de conectare de joasă tensiune sînt tratate într-o ordine puțin diferită de cea menționată în clasificare, și anume:

a) Subcapitolul *întreruptoarelor* va cuprinde și *comutatoarele*, întrucît, din punct de vedere constructiv, acestea nu reprezintă decît cazuri particulare ale aceluiași tip de aparat, avînd comune atît părțile constructive, cît și modul de acționare.

De asemenea, împreună cu întreruptoarele cu pîrghie vor fi tratate și separatoarele, întrucît, la joasă tensiune, acestea reprezintă cazuri particulare de realizare a întreruptoarelor.

b) Urmînd gruparea realizărilor practice de întreruptoare și de comutatoare de joasă tensiune, vor fi examinate pe rînd:
— *întreruptoarele și comutatoarele pentru instalații de iluminat*;
— *întreruptoarele și comutatoarele de tipul cu pîrghie* (cu cuțite) și *separatoarele*;

aceste două categorii înțelegîndu-se că sînt cu manevrare voită-neautomate;
— *întreruptoarele automate*, după care vor fi tratate:
— *declanșoarele și releele*, care determină automatismul acestora și constituie, de fapt, elemente componente ale lor.

Ca încheiere a subcapitolelor privind întreruptoarele, se va examina problema specială a stingerii arcului acestora, insistîndu-se în special asupra *suflajului magnetic*, metodă specifică în acest sens la aparatele de joasă tensiune și care capătă în prezent o mare dezvoltare.

c) În subcapitolul aparatelor de conectare de joasă tensiune, nu se vor examina controlerele, care, deși sînt comutatoare multiple din punct de vedere al funcționării, sînt dezvoltate în capitolul « *Aparate de pornire și de reglare* ».

d) La sfîrșitul acestui subcapitol s-au adăugat un paragraf despre *siguranțele fuzibile* și un paragraf despre *aparatajul capsulat*, acesta din urmă cuprinzînd descrierea și explicația funcționării tuturor aparatelor de conectare de joasă tensiune, care apar în instalații fie pe lîngă motoarele electrice, fie grupate în tablouri capsulate de distribuție.

F. Întreruptoare și comutatoare pentru instalații de iluminat

71. **Clasificare.** a) După modul de acționare: rotative, basculante, cu buton (acționate direct), cu lanț sau tiraj (acționate indirect).

b) După modul de instalare: aparente, îngropate, portative pe fire flexibile, în sau pe aparate.

c) După protecția mecanică, constructivă: normale, impermeabile sub tencuială (flanș), capsulate în carcasă metalică, capsulate în carcasă de bachelită (antigron). Standardul în vigoare prevede numai aparate pentru locuri uscate, pentru locuri umede și aparate etanșe.

d) După numărul de poli: unipolare, bipolare și tripolare.

e) După conexiuni: întreruptoare uni-, bi- și tripolare, comutatoare-serie (de lustre), comutatoare-grup (de hotel), comutatoare de scară (de capăt, alternative) comutatoare-cruce, întreruptoare-pachet.

f) După intensitatea nominală: 6, 10, 25 și 60 A; în plus 2 și 4 A la 500 V (la comutatoare de numai 2 A).

g) După tensiunea nominală: 250, 380 și 500 V.

Pentru instalații de iluminat, sînt prevăzute numai intensitățile de 6, 10 și 25 A pentru întreruptoarele și pentru comutatoarele unipolare obișnuite, 10 și 25 A pentru întreruptoarele-pachet, la tensiunea de 250 V; la 500 V se adaugă 2 și 4 A la întreruptoare și 2 A la comutatoare.

Întreruptoarele și comutatoarele pînă la 500 V și 25 A sînt standardizate prin STAS 3185-52.

72. **Piese componente.** α) *Contactele* se realizează prin apăsarea exercitată pe două lame conductoare de curent aflate în atingere. Apăsarea necesară este obținută fie numai datorită elasticității uneia dintre lame (fig. 40, *a*, *b*, *c* și *d*), fie printr-un arc elicoidal care presează una dintre lame peste cealaltă (fig. 40, *e*, *f* și fig. 41). Lamele elastice se execută, conform STAS, din tombac (Am 85) sau din bronz fosforos, iar celelalte, din cupru sau din alamă.

Exemplele arătate în figuri se referă la întreruptoarele și la comutatoarele rotative, care formează încă majoritatea aparatelor utilizate în instalațiile de iluminat.

Legătura conductorilor din instalație la contactele fixe se face prin introducerea conductorului într-o bucșă închisă (fig. 42, *a*) sau într-o bucșă deschisă (fig. 42, *b*), aflate în legătură electrică cu contactele fixe, conductorul fiind strîns în bucșă cu un șurub. Se mai poate realiza prin încolăcirea (înfășurarea) conductorului în jurul unui șurub care presează conductorul pe piesa de contact (fig. 42, *c*). STAS 3185-52 prevede că pentru întreruptoarele și pentru comutatoarele de 6 A nu se admite legarea conductorului prin încolăcire, ci numai prin introducerea directă în locașul unei bucșe. Dimensiunile minime impuse bucșelor sînt indicate în tabela 18.

Tabela 18

Intensitatea nominală, A	Diametrul locașului bucșei, mm	Filetul în bucșă		Lungimea șurubului, mm
		lungime	diametru	
6	2,8	1,8	M 2,6	4,5
10	3,2	2,0	M 3,0	5
25	4,2	3,0	M 4,0	7

β) *Dispozitivele de rupere.* Întreruptoarele și comutatoarele se construiesc cu rupere bruscă. Se consideră bruscă acea rupere la care, independent de acționarea lentă sau rapidă a piesei de manevră, contactele se ating sau se despart brusc.

Ruperea bruscă este necesară mai ales în curent continuu, deoarece limitează durata arcului, micșorînd astfel uzura contactelor. Această rupere se realizează prin faptul că puntea contactelor mobile (tamburul mobil) este cuplată liber cu piesa de manevră (cheia), de exemplu, prin montarea între aceasta și puntea unui

arc care poate să o deplaseze dintr-o poziţie în alta, după învingerea unei piedici sau după înlăturarea unui zăvor (fig. 43).

Cea mai simplă formă constructivă de întreruptor rotativ, în care se realizează ruperea bruscă (sacadarea), este aceea în care chiar lamele fixe de

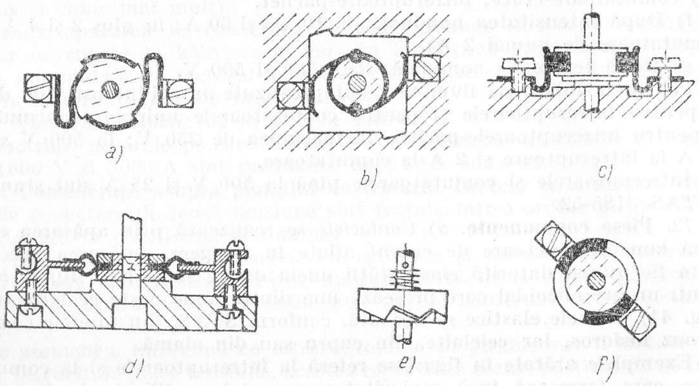


Fig. 40. — Sisteme de contacte cu rotire în sens unic:

a — cu contactele fixe din lame elastice (secţiune transversală); *b* — cu contactele mobile din lame elastice (secţiune transversală); *c* — cu contactele fixe din lame elastice (secţiune longitudinală); *d* — cu contactele mobile din lame elastice (secţiune longitudinală); *e* — cu arc elicoidal, apăsînd o lamă pe cealaltă; *f* — idem (secţiune transversală).

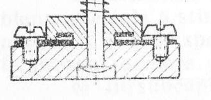


Fig. 41. — Contacte cuţit mobile cu rotire în ambele sensuri.

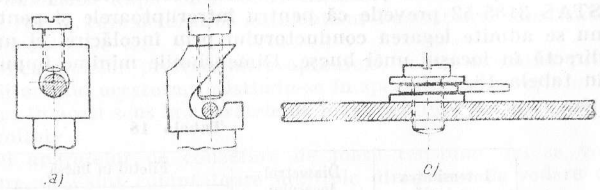


Fig. 42. — Legarea conductorilor:
a — în bucşă închisă; *b* — în bucşă deschisă; *c* — cu şurub.

contact apasă pe dinţii tamburului mobil al întreruptorului (fig. 43, *a*). În acelaşi mod, lamele elastice ale contactelor fixe pot apăsa fie pe suprafeţele frontale ale tamburului mobil (fig. 43, b), fie pe suprafeţele laterale ale tamburului, dar în excavaţiile tamburului (o pereche cu contacte şi o pereche izolate — fig. 43, *c*).

În alte construcţii, lamele de sacadare sînt diferite de lamele de contact. Astfel, în construcţia întreruptoarelor-pachet, sacadarea se poate obţine prin două lame de arc, încastrate fix la capete, în soclul aparatului, de o parte şi de alta a unui ax pătrat, formînd capătul axului de rotaţie al aparatului. În alte sisteme, deszăvorîrea tamburului mobil se produce numai după ce, prin acţionarea piesei de manevră, lamele formînd arcul au fost suficient de întinse ca să imprime axului şi, prin aceasta, tamburului, viteza necesară pentru a ajunge în poziţia următoare.

Fig. 43, *d* reprezintă un dispozitiv analog în care cele două lamele elastice, încastrate la un capăt, pot fi strînse în excavaţiile tamburului, marcînd poziţiile staţionare ale întreruptorului printr-un arc exterior.

O atenţie deosebită trebuie acordată sistemului de acţionare a întreruptoarelor sau a comutatoarelor, compus din piesa de manevră şi din legătura elastică cu tamburul mobil (arcul). Această problemă va fi tratată separat mai departe. Aici trebuie să se menţioneze numai că, la întreruptoarele şi la comutatoarele rotative, arcurile sînt spirale sau elicoidale, supuse prin acţionare unor eforturi tangenţiale, spre deosebire de cazul întreruptoarelor şi al comutatoarelor basculante, la care, cum se va vedea, arcurile (elicoidale) sînt supuse unor eforturi axiale.

În fig. 44, arcul elicoidal înfăşoară practic tot axul aparatului; de aceea, sistemul s-a numit sistem axial cu şurub. Capătul de jos al arcului antrenează un rebord al tamburului mobil şi, datorită profilului dinţat al soclului, profilul corespunzător al tamburului determină o mişcare şi în sus a acestuia, comprimînd arcul. În acest mod, în momentul cînd tamburul ajunge în poziţia staţionară următoare, arcul se destinde, zăvorînd tamburul în noua poziţie.

Un dispozitiv analog se arată în fig. 45, cu deosebirea că la acesta mişcarea este imprimată unei coroane pe care sînt prinse contactele mobile elastice.

În fig. 46 se arată un sistem de acţionare radial, în care antrenarea prin arc a tamburului determină mişcarea pieselor haşurate în figură, întinzînd arcul de sacadare, a cărui stringere la loc determină fixarea în poziţia următoare a tamburului, prin acţiune radială.

În fig. 47 este reprezentat un arc de acţionare spiral, legat cu capătul interior la axul pe care este calată rigid piesa de manevră (cheia) şi cu cel exterior, la tamburul mobil, pe care-l antrenează cînd este răsucit prin piesa de manevră.

Arcul elicoidal arătat în fig. 48 este legat cu ambele capete la tamburul mobil, într-un mod care poate determina rotirea în ambele sensuri, cum se va arăta mai departe.

Arcurile de acţionare pot fi executate şi din benzi de oţel (fig. 49 şi 50).

73. **Principii de construcţie.** La construcţiile obişnuite, soclul serveşte drept suport al clemelor, al părţilor fixe conducătoare de curent, al axului şi al pieselor mobile. Toate aceste piese sînt acoperite cu un capac şi sînt ţinute prin piesa de manevră (cheia) (fig. 51 şi 52). În alte execuţii, soclul are fixate pe el numai clemele şi contactele fixe, toate celelalte piese fiind fixate pe capac. În acest caz, legătura dintre părţile conducătoare ale soclului şi ale capacului se face prin contacte de tip fişă de priză cu piciorușe (fig. 53).

Piesele de manevră ale întreruptoarelor rotative (cheile), se fixează de ax, fie prin presare (de exemplu, cele de bachelită), fie cu ajutorul unui şurub, care poate fi axial sau perpendicular pe ax (v. fig. 51 şi 52).

Distanţele minime admise în construcţia întreruptoarelor sînt cele din tabela 19.

Carcasele metalice ale întreruptoarelor şi ale comutatoarelor au un şurub de punere la pămînt, cu diametrul de cel puţin 4 mm.

Soclurile sînt confecţionate din steatită, din bachelită sau din alte materiale plastice izolante. Se preferă steatita, care este mai rezistentă atît la lovituri, cît şi la flacără sau la încălzire (v. fig. 52).

Capacele sînt executate în mod obişnuit din bachelită (v. fig. 51, 53 şi 54); la întreruptoarele sub tencuială, ele pot fi şi de sticlă (fig. 55). Capacele întreruptoarelor-flanş sînt de porţelan (fig. 56), iar cele ale întreruptoarelor capsulate, în carcasă metalică, sînt de fontă (fig. 57). Ultimele două tipuri au garnituri de cauciuc.

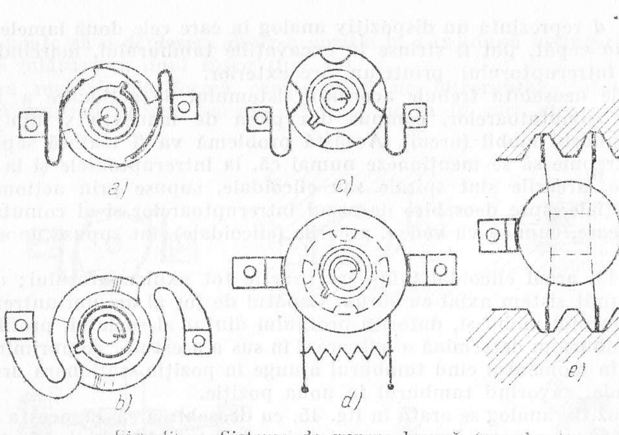


Fig. 43. — Sisteme de rupere bruscă (sacadare):
a — prin apăsarea lamelor de contact pe suprafețele laterale ale dinților tamburului mobil; *b* — prin apăsarea contactelor fixe elastice pe suprafețele frontale ale tamburului mobil; *c* — prin apăsarea contactelor fixe flexibile, în excavații ale tamburului mobil; *d* — prin apăsarea unor lame elastice, prin acțiunea unui arc; *e* — prin apăsarea a două lame incastrate la capete, pe prelungirea axului de secțiune pătrată.

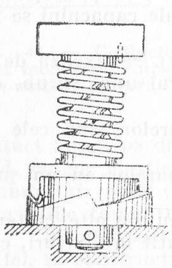


Fig. 44. — Sistem de acționare axial cu șurub.

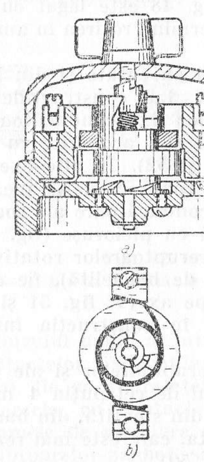


Fig. 45. — Sistem de acționare axială cu coroană:
a — secțiune verticală; *b* — secțiune orizontală.

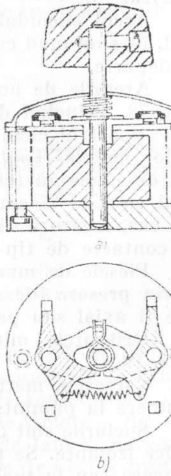


Fig. 46. — Sistem de acționare radială:
a — secțiune verticală; *b* — secțiune orizontală.

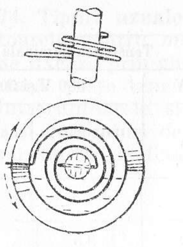


Fig. 47. — Arc spiral pentru întreruptoare cu rotația spre dreapta.

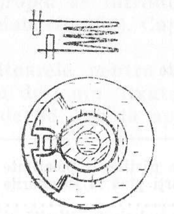


Fig. 48. — Arc elicoidal pentru întreruptoare cu rotație în ambele sensuri.

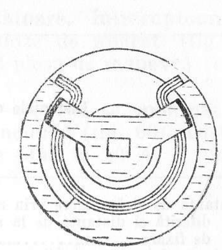


Fig. 49. — Arc din benzi de oțel.

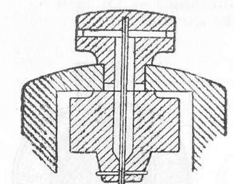


Fig. 50. — Arc din bandă de oțel, solicitat la torsiune

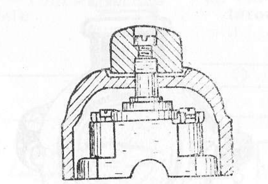


Fig. 51. — Capac cu acoperire totală și piesă de acționare demontabilă, cu șurub în lungul axului.

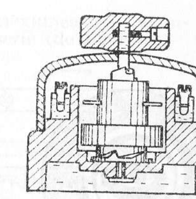


Fig. 52. — Capac cu acoperire parțială și piesă de acționare demontabilă, cu șurub perpendicular pe ax

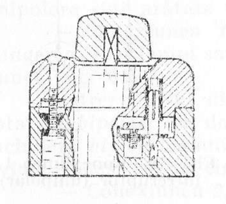


Fig. 53. — Intreruptor format din două părți, cu piesa de acționare nedemontabilă.

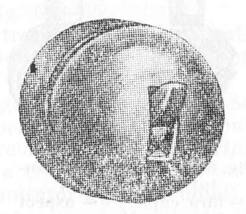


Fig. 54. — Intreruptor basculant, pe tencuială.

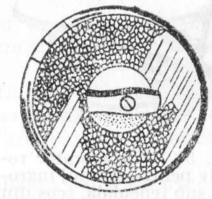


Fig. 55. — Intreruptor rotativ, sub tencuială, cu capac de sticlă.

Tabela 19

Distanțele considerate	Tensiunea nominală		
	250 V	380 V și 500 V	
	mm	unipolare, mm	multipolare, mm
Distanța de străpungere prin aer dintre părțile de polaritate diferită și distanța de la aceste părți pînă la șuruburile de fixare..	2	3,5	5
Distanța de conturnare dintre părțile de polaritate diferită și distanța de la aceste părți pînă la șuruburile de fixare..	3	5	8
Distanța de străpungere prin aer dintre părțile sub tensiune și părțile metalice neizolate ale corpurilor sau ale pereților	6	10	10
Distanța de străpungere printr-un strat de material izolant, cu grosimea de cel puțin 2 mm, dintre părțile sub tensiune și părțile metalice neizolate ale corpurilor sau ale pereților ..	3	6	6



Fig. 56.—Intreruptor rotativ, sub tencuială, cu capac de porțelan.

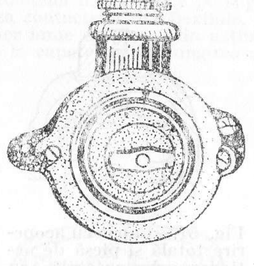


Fig. 57.—Intreruptor capsulat în carcasă metalică cu capac de fontă.

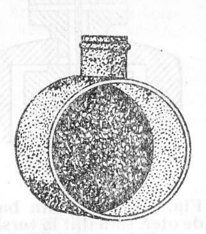


Fig. 58.— Doză de aparat

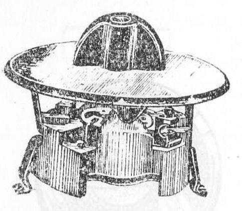


Fig. 59.— Intreruptor rotativ pentru montaj îngropat sub tencuială, scos din doză.

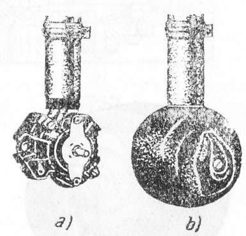


Fig. 60.—Intreruptor montat pe tencuială:
a — fără capac; b — aspect exterior.

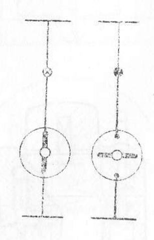


Fig. 61.—Conexiunea 1 — întreruptor (unipolar).

Piesele de manevră (cheile), se execută din material izolant, chiar la aparatele cu carcasă metalică.

Arcurile spirale și elicoidale se fac din sîrmă de oțel (coardă de pian CP), iar cele lamelare, din bandă de oțel de arcuri sau, în unele cazuri, din tombac.

74. **Tipuri uzuale de întreruptoare și de comutatoare.** Întreruptoarele și comutatoarele pentru *montaj îngropat* se introduc în doze de aparat (fig. 58), de care se fixează prin ghiare speciale (fig. 59). Capacul și piesa de manevră (cheia) rămîn afară, peste tencuială.

Întreruptoarele și comutatoarele pentru *montaj aparent* se montează cu șuruburi și cu dibluri de oțel sau de lemn, fixate în tencuială (fig. 60). Distanța dintre șuruburile de fixare este de 38 mm la aparatele pînă la 10 A.

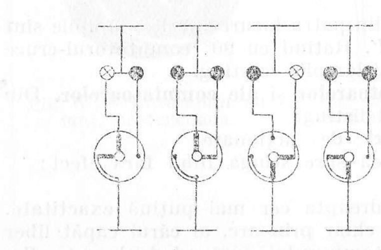


Fig. 62. — Conexiunea 2 — comutator grup (de hotel).

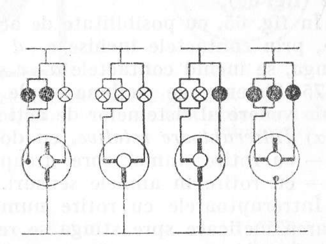


Fig. 63.— Conexiunea 3 — comutator — serie (de lustre).

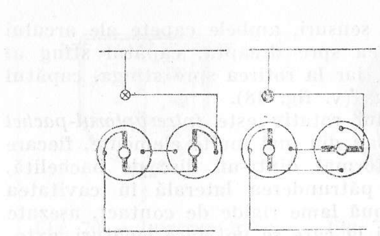


Fig. 64. — Conexiunea 4 — comutator de scară (de capăt).

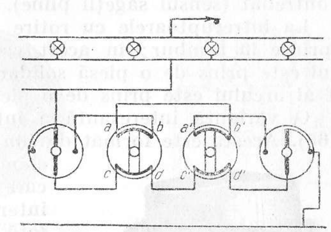


Fig. 65.— Conexiunea 5 — comutator cruce (de capăt).

Întreruptoarele și comutatoarele capsulate în carcase de bachelită sau de fontă pot fi montate atît aparent, cît și îngropat.

Schemele de conexiuni ale diferitelor tipuri de întreruptoare și de comutatoare unipolare sînt arătate în fig. 61—65.

— Conexiunea *1*, întreruptor, este utilizată pentru aprinderea și pentru stingerea unei lămpi sau a unui grup de lămpi electrice, simultan și dintr-un singur punct (fig. 61).

Întreruptorul din fig. 61 este *unipolar*. Se execută însă și întreruptoare rotative *bipolare* (cu două perechi de contacte), putînd determina o deschidere și o închidere *bipolară* a unui circuit cu două fire, și *tripolare*, cu trei perechi de contacte, avînd același rol în circuite trifazate.

— Conexiunea *2*, comutator-grup (de hotel), este utilizată pentru aprinderea și pentru stingerea succesivă a două lămpi sau a două grupuri de lămpi, astfel încît, cînd unul dintre grupuri este aprins, celălalt este stins (acest tip este utilizat foarte rar (fig. 62).

— Conexiunea *3*, comutator-serie (de lustre), este utilizată pentru aprinderea și pentru stingerea succesivă a două grupuri de lămpi, putînd fi aprinse sau stinse, atît separat, cît și simultan (fig. 63).

Conexiunea *4*, comutator de scară (de capăt alternativ), este utilizată pentru aprinderea și pentru stingerea unei lămpi sau a unui grup de lămpi din două puncte diferite, astfel încît, indiferent de poziția unuia dintre comutatoare, se poate aprinde sau stinge lampa sau grupul de lămpi cu celălalt comutator (fig. 64).

Conexiunea *5*, comutator-cruce, este utilizată în legătură cu două comutatoare de scară, pentru aprinderea și pentru stingerea unui grup de lămpi din trei, sau patru puncte diferite, astfel încît, indiferent de poziția celorlalte comutatoare se poate aprinde sau stinge grupul de lămpi cu oricare dintre comutatoare (fig. 65).

În fig. 65, cu posibilitate de acționare din patru locuri diferite, lămpile sînt aprinse, prin contactele închise $c-d$ și $c'-d'$. Rotind cu 90° comutatorul-cruce din stînga, se închid contactele $a-c$ și $b-d$, și lămpile se sting.

75. **Sisteme de acționare ale întreruptoarelor și ale comutatoarelor.** Din punct de vedere al sistemelor de acționare, se disting:

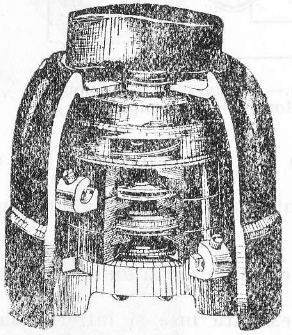
α) *Întreruptoare rotative*, cu două feluri de acționare:

— cu rotire numai spre dreapta, rotirea spre stînga fiind fără efect;
— cu rotire în ambele sensuri.

Întreruptoarele cu rotire numai spre dreapta cer mai puțină exactitate. Acționarea ineficace spre stînga se realizează chiar prin arc, al cărui capăt liber alunecă, la mișcarea spre stînga, peste dinții tamburului, fără a-l deplasa (v. fig. 47, sensul săgeții punctate), în timp ce, la rotirea cheii spre dreapta, tamburul este antrenat (sensul săgeții pline).

La întreruptoarele cu rotire în ambele sensuri, ambele capete ale arcului sînt prinse în tambur; în acest caz, la rotirea spre dreapta, capătul stîng al arcului este prins de o piesă solidară cu axul, iar la rotirea spre stînga, capătul drept al arcului este prins de o piesă analoagă (v. fig. 48).

O variantă interesantă a întreruptorului rotativ este *întreruptorul-pachet* (fig. 66). Acesta este format din un element sau din mai multe elemente, fiecare element fiind format dintr-un disc de bachelită, care permite pătrunderea laterală în cavitatea interioară a două lame rigide de contact, așezate față în față, și la care se pot face legături exterioare. Două lame elastice de bronz fosforos sau de tombac, solidare cu axul, realizează legătura electrică dintre cele două contacte în anumite poziții ale axului și desfac această legătură în celelalte poziții.

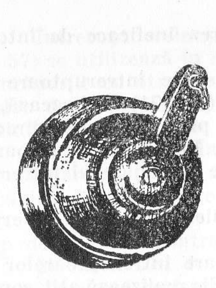

Fig. 66.—Întreruptor pachet (secționat).

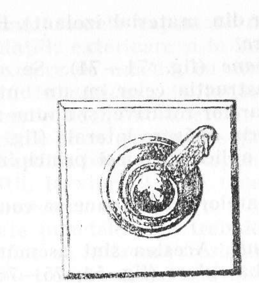
Ca aspect exterior, întreruptorul-pachet nu se deosebește de un întreruptor rotativ montat aparent (v. fig. 60, *b*), decît printr-o înălțime mai mare.

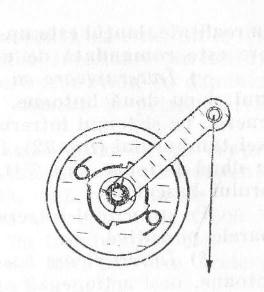
Datorită faptului că de-a lungul axului se pot așeza oricît de multe elemente, întreruptoarele-pachet pot fi utilizate:

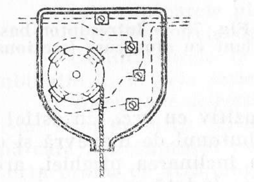
— la intensități mari de curent, prin montarea a două sau trei elemente în paralel;
— pentru conexiuni de circuite polifazate, utilizînd cîte un element pentru fiecare fază;
— pentru montaje speciale de manevră și mai ales de semnalizare.

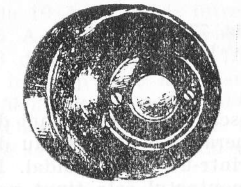
β) *Întreruptoare cu lanț* (fig. 67—70). În cea mai simplă construcție, sînt un fel de întreruptoare rotative spre dreapta, cu rotire ineficace spre stînga. În locul piesei de manevră este montată o manetă cu braț, ai cărei dinți angrenează dinții unui tambur, la rotirea spre dreapta, provocată de lanțul de care se trage

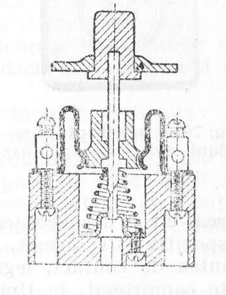

Fig. 67. — Întreruptor cu lanț, pe tencuială.

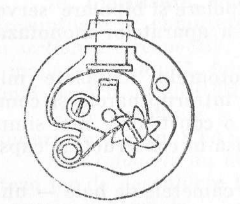

Fig. 68. — Întreruptor cu lanț sub tencuială.

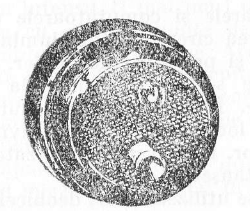

Fig. 69. — Întreruptor cu lanț unipolar (schemă interioară).

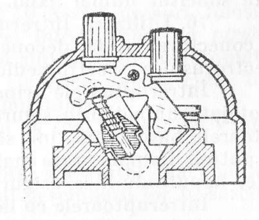

Fig. 70. — Întreruptor cu lanț bipolar (schemă interioară).


Fig. 71. — Întreruptor cu un buton, montat pe tencuială (aspect exterior).


Fig. 72. — Întreruptor cu buton, cu acționare axială.


Fig. 73. — Întreruptor cu un buton, cu acționare radială.


Fig. 74. — Întreruptor cu două butoane montat pe tencuială (aspect exterior).


Fig. 75.—Întreruptor basculant pe tencuială cu două butoane (secționat).

(în realitate, lanțul este un șnur din material izolant). Rotirea ineficace de întoarcere este comandată de un arc.

γ) *Întreruptoare cu butoane* (fig. 71—74). Se deosebesc întreruptoare cu unul și cu două butoane. Construcția celor cu un buton (fig. 71) se bazează, în general, pe sistemul întreruptoarelor rotative, și anume: fie prin apăsare în direcția axei tamburului (fig. 72), fie prin apăsare laterală (fig. 73). Pentru întreruptoarele cu două butoane (fig. 74), se aplică deobicei principiul de acționare al întreruptorului basculant.

Pe principiul întreruptoarelor cu butoane se construiesc deobicei întreruptoarele portative.

δ) *Întreruptoare basculante*. Acestea sînt asemănătoare întreruptoarelor cu butoane, deși acționează prin basculare (fig. 54, 75—78). Ele realizează atît conectarea, cît și deconectarea bruscă, cu ajutorul unui dispozitiv cu arc. Un astfel de dispozitiv este format, în general, din pîrghia sau din butonul de manevră și din puntea de contact, legate printr-un arc elicoidal. Prin înclinarea pîrghiei, arcul este comprimat, în timp ce contactul este ținut pe loc. Îndată ce comprimarea arcului a atins o valoare suficientă, puntea de contact sare liber dintr-o parte în alta, peste un punct mort, realizînd sau desfăcînd contactul dintre două lame flexibile.

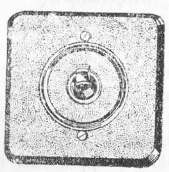


Fig. 76.— Intreruptor basculant sub tencuială (aspect exterior).

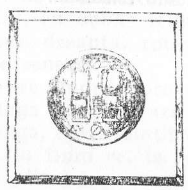


Fig. 77. — Comutator basculant, sub tencuială.

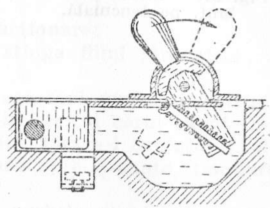


Fig. 78. — Intreruptor basculant cu alunecare (secționat).

O construcție specială are întreruptorul din fig. 78; la acesta, piesa de manevră face să culiseze un bolț de contact de-a lungul unei șine.

Se observă că, spre deosebire de cazul întreruptorului rotativ, arcul elicoidal este solicitat numai axial.

76. **Utilizări.** Întreruptoarele și comutatoarele unipolare și bipolare servesc la conectarea și la deconectarea circuitelor de iluminat, a aparatelor monofazate electrocasnice, electromedicale și portative de atelier.

Întreruptoarele tripolare servesc la comanda motoarelor trifazate mici, protejate numai prin siguranțe. În instalațiile obișnuite, întreruptoarele și comutatoarele basculante tind să ia locul celor rotative, avînd o construcție mai simplă și putînd fi manevrate mai ușor. Ele nu pot fi utilizate însă în construcțiile capsulate, neputîndu-li-se asigura etanșeitatea.

Întreruptoarele cu lanț se utilizează rar, deobicei în camerele de baie — unde pericolul de accident prin electrocutare este mult mărit, din cauza atmosferei umede care micșorează mult rezistența de conturnare a pieselor izolante ale întreruptoarelor, cum și datorită faptului că rezistența de contact a corpului ud este foarte mică.

Întreruptoarele impermeabile sub tencuială se utilizează în încăperile cu atmosferă umedă: bucătării, camere de baie, spălătorii etc.

Întreruptoarele și comutatoarele capsulate de bachelită sau de fontă (v. fig. 57) se utilizează în instalațiile exterioare și în instalațiile interioare din fabrici, în încăperile cu atmosferă excesiv de umedă, cu atmosferă acidă sau cu depuneri masive de praf, de exemplu: în grajduri, în industria chimică și petrolieră, în fabricile de ciment, în filaturile de bumbac etc.

77. **Încercări.** Încercările care se fac asupra întreruptoarelor și asupra comutatoarelor, pentru a se verifica buna lor funcționare, afară de cele de rezistență mecanică, la șoc, la trepidații, la vibrații și la umezeală, sînt următoarele:

α) *Încercarea de străpungere*: se aplică o tensiune alternativă de 1 500 V timp de un minut între toate punctele care trebuie să fie izolate între ele.

β) *Încercarea de izolație*: se măsoară rezistența de izolație între aceleași puncte. Această rezistență nu trebuie să fie mai mică decît 2 MΩ.

γ) *Încercarea de încălzire*: se trece prin aparat un curent cu 25 % mai mare decît cel nominal, însă de cel puțin 10 A; la borne nu trebuie să se producă o cădere de tensiune mai mare decît 50 mV, pentru fiecare poziție de închidere a aparatului respectiv.

Totodată, o bilă de ceară cu diametrul de circa 3 mm, pusă sub capac pe orice parte metalică a aparatului, nu trebuie să se topească în timp de 30 min la un curent egal cu de 1,25 ori curentul nominal, dar de minimum 6 A.

δ) *Încercarea la puterea de rupere*: se supun întreruptoarele la un număr de întreruperi (deconectări), la un curent cu 25 % mai mare decît cel nominal și la tensiunea nominală, și anume:

— întreruptoarele pînă la 10 A, la 90 de întreruperi în timp de 3 min;
— întreruptoarele de 25 A, la 60 de întreruperi în timp de 3 min;
— comutatoarele la 150 de întreruperi, sau 150 în combinația 1 și 150 în combinația 2, la cele serie [1]), în timp de 5 min pentru aparatele pînă la 10 A.

ε) *Încercarea de rezistență mecanică*: se fac 20 000 de schimbări de poziție într-un ritm de circa 25 de schimbări pe minut, fără tensiune și fără curent, după care întreruptorul trebuie să rămînă în bună stare de funcționare, putînd suporta proba de străpungere.

ζ) *Încercarea la încălzire a pieselor izolante*: părțile izolante trebuie să suporte o încălzire în termostat, la temperatura de 100°C, timp de două ore, fără să se producă înmuierea, deformarea, matarea suprafețelor etc.

G. Întreruptoare și comutatoare cu pîrghie și separatoare

78. **Clasificare.** Pentru intensități mai mari decît 10 A sînt deseori folosite întreruptoare și comutatoare cu cuțite, numite deobicei *întreruptoare cu pîrghie* sau *secționoare* respectiv, comutatoare cu pîrghie. Acestea sînt aparate neautomate, cu manevră manuală, folosite la modificarea circuitelor electrice, sub sarcină, dar numai pentru intensități care nu depășesc valoarea nominală.

Întreruptoarele și comutatoarele cu pîrghie pînă la 200 A și 500 V sînt standardizate prin STAS 2425-51.

Separatoarele nu au capacitate de rupere, după cum s-a arătat mai înainte. Viteza lor de deschidere fiind mică, arcul format în cazul deschiderii lor în sarcină ar avaria contactele.

Date fiind eforturile pe care le suportă separatoarele la închidere și la deschidere, ele trebuie să fie de o construcție solidă.

[1]) Combinația 1: Pe una dintre ramuri, curentul I_n iar pe cealaltă, 0,25 I_n. Combinația 2: 0,625 I_n pe fiecare ramură.

Separatoarele utilizate în instalațiile de joasă tensiune sînt, de fapt, construcții speciale de întreruptoare cu pîrghie (cu cuțite) și vor fi tratate, deci, ca atare, în cele ce urmează.

Categoriile de aparate menționate se clasifică după cum urmează:

— după tensiunea nominală: 250 și 500 V;

— după intensitatea nominală: 25, (40), 60, 100, 200, 350, 600, 1 000 A (în mod excepțional 1 500, 2 000 și 3 000 A);

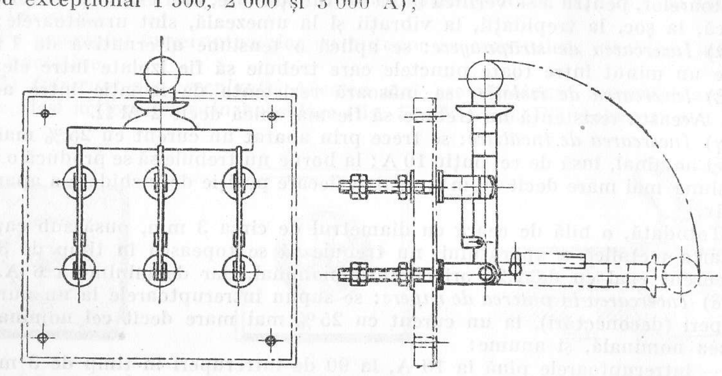


Fig. 79. Întreruptor tripolar cu pîrghie.

— după numărul de poli: uni-, bi-, tri- sau tetrapolare;

— după felul ruperii: cu sau fără rupere bruscă;

— după cum întrerup circuitul sub sarcină sau nu: întreruptoare sau separatoare;

— după așezare: în fața sau în spatele tabloului;

— după conexiuni: întreruptoare (fig. 79), comutatoare (fig. 80), comutatoare speciale (fig. 81 și 82), separatoare.

În fig. 81 se arată un comutator special de excitație, care în poziția din figură leagă înfășurarea inductoare la bornele generatorului respectiv, iar în poziția a doua, leagă aceeași înfășurare în serie cu o rezistență de stingere, separînd-o de generator. Comutatorul din fig. 82 servește la pornirea unui motor electric, întrucît la trecerea de la poziția deschis la poziția închis, scurtcircuitează pe rînd diferitele trepte ale rezistenței de pornire.

La curenți mai mari decît 200 A, nu se recomandă folosirea întreruptoarelor cu pîrghie pentru întrerupere sub sarcină, deoarece arcul format la întrerupere este prea intens, distruge contactele în scurt timp și amorsează arcuri între faze, care distrug, la rîndul lor, materialele izolante și prezintă un permanent pericol pentru instalație și pentru manipulanți.

79. **Principii de construcție.** Construcțiile obișnuite sînt cele cu furci (fig. 85), de cupru sau de tombac, și cu cuțite de cupru (eventual de alamă). Contactul se bazează pe presiunea dintre furcă și cuțit, realizată, în cele mai multe cazuri, exclusiv prin elasticitatea materialului. La presiunile normale de 0,3—0,6 kgf/cm², care pot fi realizate astfel, se recomandă ca densitatea superficială a curentului să fie de maximum 0,12 A/mm² de suprafață de contact. La separatoare se recomandă o presiune pe contacte de 20—25 gf/A. Densitatea de curent în secțiunea furcii și a cuțitului se poate lua de 1,5—2,5 A/mm² pentru cupru și de 1—1,6 A/mm² pentru alamă și pentru tombac. Valorile mari se admit numai pentru inten-

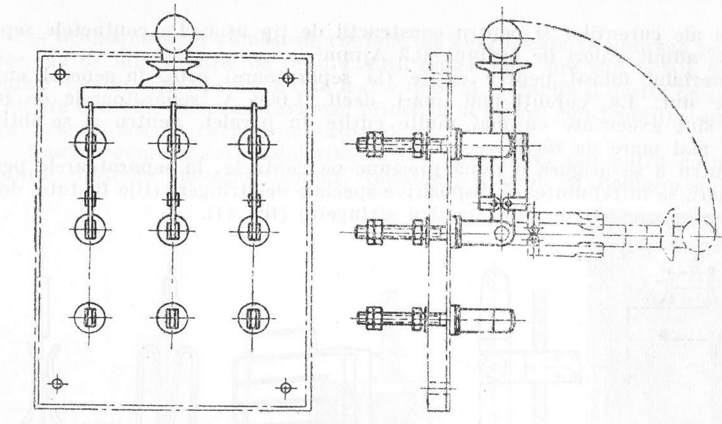


Fig. 80. — Comutator tripolar cu pîrghie.

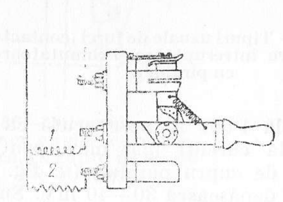


Fig. 81. — Comutator de excitație, introducînd o rezistență de descărcare în circuit închis cu inductorul unui generator:
1 — inductor; 2 — rezistență de descărcare.

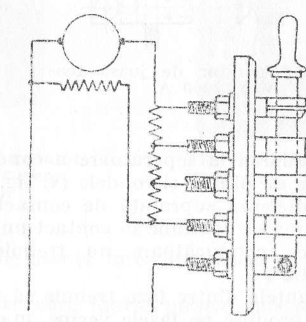


Fig. 82. — Comutator servind ca reostat de pornire.

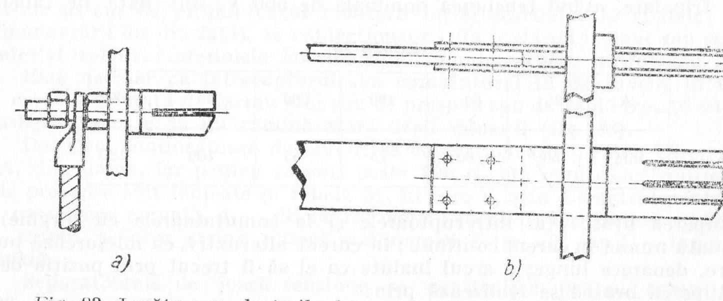


Fig. 83. Legătura conductorilor la un separator de joasă tensiune, 1000 A:
a — detaliul unei borne; *b* — contact fix (vedere laterală și de sus).

sităţi mici ale curenţilor şi pentru construcţii de tip uşor. La contactele separatoarelor se admit valori de ordinul 0,2 A/mm².

Materialul folosit pentru cuţite (la separatoare) este, în general, cuprul electrolitic dur. La curenţi mai mari decît 1 000 A, separatoarele de joasă tensiune sînt executate cu mai multe cuţite în paralel, pentru a se obţine o suprafaţă mai mare de răcire.

Pentru a se asigura o bună presiune pe contacte, la separatoarele pentru curenţi mari, se întrebuinţează dispozitive speciale de strîngere (tije filetate, dotate cu mînere sau cu roţi de mînă pentru strîngere) (fig. 84).

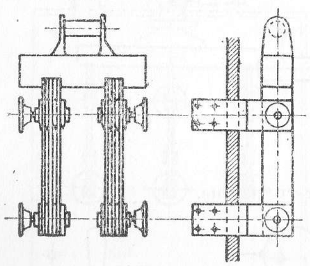


Fig. 84. — Separator de joasă tensiune, 3000 A.

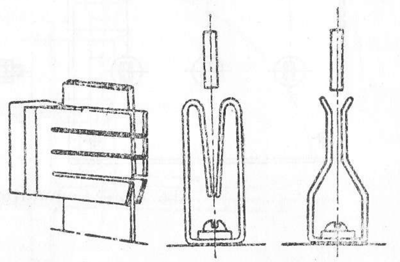


Fig. 85. — Tipuri uzuale de furci (contacte fixe pentru întreruptoare şi comutatoare cu pîrghie).

Racordarea la separatoare a conductorilor, la 1 000 A, se execută cu tije filetate, care au piuliţe şi rondele (v. fig. 83), iar la curenţi mai mari, pentru a obţine o suficientă suprafaţă de contact, cu bare de cupru paralele (v. fig. 84).

Căderea de tensiune în contact nu trebuie să depăşească 30—40 mV. Suprafaţa pieselor conducătoare nu trebuie să fie încărcată cu mai mult decît 1,8—2 W/dm².

Distanţele dintre faze trebuie să fie cît mai mari, pentru a evita atingerea cu arcurile produse pe fazele vecine, în momentul întreruperii (deconectării), ceeace ar produce scurtcircuite foarte periculoase.

Distanţele minime recomandate între axele fazelor vecine pentru întreruptoare tripolare, avînd tensiunea nominală de 500 V, sînt date în tabela 20.

Tabela 20

A	25	60	100	200	350	600
mm	50	60	75	85	100	120

Ruperea bruscă (la întreruptoarele şi la comutatoarele cu pîrghie) este recomandată numai în curent continuu; în curent alternativ, ea micşorează puterea de rupere, deoarece lungeşte arcul înainte ca el să fi trecut prin poziţia de zero.

Ruperea bruscă se realizează prin:

— utilizarea unor cuţite auxiliare de uzură (de stingere), care fac — primele — conectarea la închidere şi — ultimele — deconectarea la deschidere, şi care sînt legate de cuţitele principale prin arcuri elicoidale (fig. 86);

— utilizarea unor cămăşi de contact, de cupru, care se îmbracă peste cuţite de fier sau de alt material de conductanţă redusă, de care sînt legate prin arcuri elicoidale. Construcţia din urmă este foarte masivă, durabilă şi destul de economică, însă nu are contacte de uzură (avantaj principal al primei construcţii) şi nu prezintă soluţii avantajoase în cazul comutatoarelor.

Punţile comune care solidarizează cele două, trei sau patru cuţite trebuie executate dintr-un material izolant, rezistent, durabil şi nehigroscopic; ele se

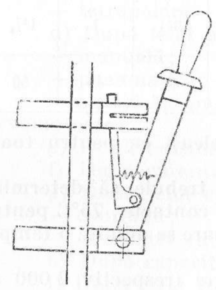


Fig. 86.— Întreruptor unipolar cu pîrghie cu rupere bruscă, cu cuţite de uzură (de stingere).

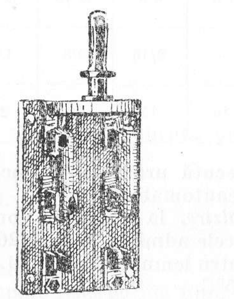


Fig. 87. — Comutator bipolar, cu rupere bruscă.

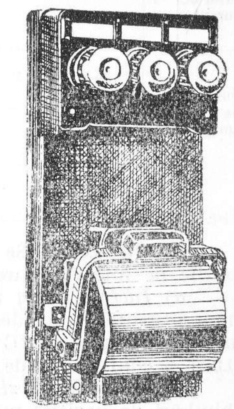


Fig. 88. — Întreruptor cu pîrghie, cu carcasă izolantă.

fac, deobicei, din pertinax sau din lemn de esenţă tare, bine uscat şi fiert în ulei sau bachelizat.

Se recomandă ca distanţele de conturnare dintre piesele sub tensiune sau dintre acestea şi pămînt să nu fie mai mici decît 18 mm.

Mînerul, fie că este aplicat direct pe punte (cazul montării întreruptoarelor în faţa tabloului — v. fig. 81, 82, 86 şi 87), fie că acţionează întreruptorul printr-un sistem de pîrghii (cazul montării întreruptoarelor în spatele tabloului şi al manevrării lor din faţă), se confecţionează din material izolant sau se îmbracă în material izolant. Materialele folosite sînt lemnul (carpen, frasin) sau bachelita.

Este necesar ca întreruptorul sau comutatorul să fie învelit în întregime cu o carcasă izolantă de carton gros sau de preşpan sau de tablă izolată cu preşpan sau asbest din care să nu rămînă afară decît mînerul (fig. 88).

Bolţurile conducătoare de curent se confecţionează, pentru curenţi pînă la 100 A, din alamă, iar pentru curenţi peste 100 A, din cupru electrolitic. Dimensiunile prescrise sînt indicate în tabela 21, în care d_1 este diametrul pentru bolţuri (prin care trece curent), d_2 — diametrul pentru şuruburi de contact (prin care nu trece curent şi care strîng numai conductorii între ei), iar l_2 — lungimea lor nominală.

Separatoarele de joasă tensiune se construiesc pentru curenţi pînă la 10 000 A, în curent continuu (în instalaţii de electroliză, de laminare, etc.). În mod excepţional, au fost construite şi de 20 000 A.

În curent alternativ, la curenţi nominali de peste 3 000 A, se întîmpină dificultăţi din cauza efectului pelicular şi de apropiere.

Tabela 21

Curentul nominal I_n		A	25	60	100	200	350	600	1 000	1 500	2 000
Bolț conducător de curent	d_1	mm	M 5	M 6	M 8	M12	M 16	M 22	—	—	—
		țoli	—	—	5/16	1/2	5/8	7/8	1	$1^1/_4$	$1^3/_4$
Șurub de contact	d_2	mm	M 5	M 6	M 8	M 10	M 12	M 16	M 20	—	—
		țoli	—	—	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	1	$1^1/_4$
	l_2	mm	8	10	15	18	25	35	40	45	50

80. **Incercări.** Se execută următoarele încercări, aceleași ca pentru toate tipurile de întreruptoare neautomate:

α) *Încercarea la încălzire*, la curentul nominal, nu trebuie să determine temperaturi mai mari decît cele admise: 70 . . . 120°C pentru contacte; 75°C pentru lemn neimpregnat; 90°C pentru lemn impregnat. La separatoare se admite o temperatură a contactelor de 105°C.

β) *Încercarea rezistenței mecanice* la 1 000 de manevre (respectiv 2 000 de schimbări de poziție) nu trebuie să provoace deteriorarea aparatului sau a unora dintre părțile lui.

γ) *Încercarea capacității de rupere*; în acest scop se fac 40 de deconectări sub tensiune nominală mărită cu 10 %, la un curent inductiv de 0,75 I_n și la un factor de putere mai mic decît 0,2 și un număr egal de deconectări la un curent neinductiv de 1,25 I_n, I_n fiind curentul nominal al întreruptorului.

δ) *Încercarea rigidității dielectrice* se face timp de 5 min, cu tensiunea de încercare avînd valori de 1 500 V la 250 V tensiune nominală și 2 500—3 000 V pentru aparate cu tensiunile nominale de 500—1 000 V, conform STAS 553-52.

H. Întreruptoare automate

81. **Clasificare.** Întreruptoarele automate întrerup în mod automat curentul în circuitele protejate de acestea, cînd intervin cauze care pun în pericol conductorii sau receptoarele conectate în circuit.

Întreruptoarele automate de joasă tensiune se pot clasifica după următoarele criterii.

a) După natura utilizării:
— pentru instalații de iluminat;
— pentru protecția motoarelor;
— pentru stații (respectiv pentru tablourile de distribuție din centrale electrice, din posturi de transformare etc.);
— pentru curent continuu de mare intensitate (în special, întreruptoare ultrarapide).

b) După natura protecției care provoacă întreruperile automate, și anume:
— de curent minim, întrerupînd la o scădere cu 3—10 % a curentului sub valoarea curentului nominal;

— de curent maxim, întrerupînd la depășirea curentului nominal;
— de curent invers, întrerupînd la trecerea unui curent de sens contrar celui normal;
— de tensiune minimă, întrerupînd la scăderea tensiunii de alimentare;
— de tensiune maximă, întrerupînd la depășirea tensiunii de alimentare.
Se construiesc și întreruptoare automate pentru combinații ale acestor protecții, de exemplu, întreruptor automat pentru curent maxim, curent invers și tensiune minimă.

c) După numărul polilor:
— unipolare;
— bipolare;
— tripolare;
— tetrapolare.

d) După felul acționării:
— manuală;
— pneumatică;
— electrică, putînd fi la rîndul ei realizată prin electromagneți sau prin servomotoare.

e) După tensiunea de serviciu.

f) După curentul nominal.

g) După felul curentului:
— continuu;
— alternativ (mono- sau trifazat).

h) După capacitatea de rupere (categoriile fiind cele indicate în tabela 22).

i) După felul izolației:
— în aer;
— în ulei.

g) După dispozitivele de stingere a arcului:
— cu coarne de stingere;
— cu camere de stingere;
— cu suflaj magnetic.

k) După contactele auxiliare utilizate:
— cu contacte de semnalizare;
— cu contacte de blocare.

Tabela 22

Categoria aparatului	Intensitatea curentului de rupere, A	
	Neinductiv	Inductiv, la cos $\varphi < 0{,}2$
Ușoară	500	75
Semigrea.	1 500	225
Grea	5 000	750

Întreruptoarele automate de joasă tensiune utilizate în practică sînt, în general, de tipul *disjunctor*, avînd numai declanșarea automată, astfel încît după fiecare declanșare trebuie închise manual, fie prin acționare directă, fie prin comandă la distanță. Numai în mod excepțional se utilizează întreruptoare automate de joasă tensiune de tipul disjunctor-conjunctor, adică cu reanclanșarea automată.

STAS 4480-54 cuprinde condițiile speciale pe care trebuie să le îndeplinească întreruptoarele automate tripolare în aer și ulei, de curent alternativ pînă la 1 kV și 1 000 A.

82. **Piese componente.** Un întreruptor automat se compune, în principiu, din următoarele piese (părți) :

a) Căi de curent (borne, legături în bare, contacte).

b) Relee și declanșoare termice și electromagnetice, care se vor trata separat în cele ce urmează.

c) Dispozitive de stingere a arcului, conform specificației indicat mai înainte și care, de asemenea, se vor descrie separat mai departe. Realizarea cea mai curentă a unui astfel de dispozitiv, montat la majoritatea întreruptoarelor

automate, se concretizează *în camerele de stingere*, executate din material izolant și rezistent la arcul electric, așezate cîte una deasupra contactelor unui pol, la partea superioară a aparatelor și deschise deasupra, formînd un coș pentru canalizarea în sus a gazelor ceea ce grăbește stingerea arcului.

d) Dispozitive de manevră: axul și maneta de manevră (pentru acționarea manuală), axul de acționare și cel de declanșare, cum și dispozitivele de comandă la distanță (manual, electric sau pneumatic), conform celor arătate la paragraful anterior.

e) Dispozitive de zăvorîre a întreruptoarelor în poziția închisă: pot fi mecanice sau electromagnetice.

f) Diferite conexiuni — conductori flexibili sau izolați.

g) Placa sau cadrul de susținere, pe care se fixează toate organele indicate mai sus.

h) Cuva de ulei — pentru întreruptoarele care au ruperea în ulei.

i) Contacte auxiliare: de semnalizare (optică sau acustică), de blocare reciprocă (între circuite, de comandă la distanță).

j) Pereți despărțitori între faze, executați din material izolant și rezistent la căldură, destinați să împiedice propagarea arcurilor dela o fază la altă fază vecină. Deobicei sînt cuprinși în camerele de stingere menționate la punctul c, cînd acestea există.

k) Capac protector, închizînd pe din afară ansamblului restului organelor întreruptorului automat, fixat pe placa sau pe cadrul de susținere. Servește la apărarea organelor acestuia de lovituri și asigură totodată, protecția manipulanților aparatului, contra atingerii accidentale a pieselor sub tensiune.

În paragrafele care urmează se expun principiile pe care se bazează construcția acestor organe — afară de cele examinate în paragrafe separate — și se descriu sumar tipurile de întreruptoare automate mai des întrebuințate în practică.

83. **Principii de construcție.** α) *Construcția diferitelor piese componente.* Căile de curent (părțile conducătoare de curent) ale întreruptoarelor automate se execută de cele mai multe ori, din cupru electrolitic; numai la întreruptoarele mici, ele sînt de alamă. Contactele pot fi: de suprafață, liniare (liniforme) sau punctiforme. Contactele în formă de perie (din lamele multiple), se folosesc din ce în ce mai rar, cu toate avantajele pe care le prezintă: amortizarea șocurilor la anclanșare rapidă, curățirea suprafeței de contact de oxizii de cupru, prin frecare, și rezistența redusă de contact. Totuși, încălzirea mică pe care o pot suporta astfel de contacte (maximum 35°C, deoarece, la temperaturi mai mari, lamelele își pierd elasticitatea) și deteriorarea lor la depășirea curentului nominal au făcut pe unii constructori să renunțe la utilizarea acestui fel de contacte.

Materiale folosite pentru contacte:

— în aer: cuprul (este însă de preferat argintul, oxizii acestuia fiind buni conducători de curent, spre deosebire de oxizii cuprului);

— în ulei: exclusiv cuprul.

Contactele de cupru trebuie construite astfel, încît închiderea sau deschiderea lor să aibă loc cu frecarea suprafeței de contact, frecarea fiind necesară pentru a înlătura stratul de oxid de cupru care se formează cu timpul.

La întreruptoarele în aer, pentru curenți mai mari, sînt necesare dispozitive de stingere, ca: suflajul magnetic, contactele auxiliare, coarnele și camerele de stingere, pentru ruperea și pentru stingerea arcului.

Întreruptoarele automate în aer se construiesc și cu cîte trei contacte pe fiecare pol: contact principal, intermediar, și de uzură (de stingere), acesta din urmă avînd drept scop ruperea arcului. Contactele de uzură au forma unor coarne.

La închiderea întreruptorului, contactele se stabilesc în ordinea următoare:

— contactele de uzură;

— contactele intermediare;

— contactele principale;

iar la deschiderea întreruptorului, desprinderea contactelor are loc în ordine inversă.

Releele și declanșoarele pot fi electromagnetice sau termice, după cum s-a arătat mai înainte.

Întreruptoarele pentru protecția motoarelor pot avea și organe de temporizare, pentru întîrzierea declanșării cu un anumit timp. În majoritatea cazurilor, ele sînt dotate cu relee termice, pentru protecția contra suprasarcinilor, cu relee electromagnetice, pentru declanșarea la scurtcircuit sau la șocuri de curent, cum și cu relee și cu declanșoare pentru tensiune minimă (redusă), care asigură întreruperea la scăderea sau la dispariția tensiunii.

Dispozitivele de acționare ale întreruptoarelor automate sînt dotate cu mecanisme de zăvorîre. Acestea se execută din oțel și necesită cementarea suprafețelor supuse uzurii.

Este absolut necesar ca dispozitivele de acționare să aibă declanșare liberă, astfel cum s-a precizat în prima parte a prezentului capitol, la paragraful 5.

Întreruptoarele automate pot fi combinate cu rezistențe de pornire sau cu alte aparate, prevăzîndu-se între ele blocări mecanice sau electrice, pentru a se exclude manevrările greșite. De exemplu: la poduri rulante, întreruptoarele automate nu pot fi anclanșate cînd controlerele pentru manevrarea podului nu sînt în poziție de zero (« închis »).

Dispozitivele pentru comandă la distanță (fig. 89) prezintă avantajul economiei de spațiu (întreruptoarele pot fi plasate în locuri libere) și de material, în cazul conductoarelor de secțiune mare în circuitul care trebuie întrerupt, întrucît aducerea acestora pînă la locul de comandă nu mai este necesară.

Declanșarea rapidă a întreruptoarelor automate se poate efectua cu ajutorul unor arcuri elicoidale puternice. În cazul folosirii electromagneților la declanșări rapide, pentru a se obține o viteză suficientă a contactelor mobile la declanșare, armătura electromagnetului execută întîi o parte din cursă în mod liber și numai după ce a obținut viteza corespunzătoare, antrenează și sistemul mobil al întreruptorului.

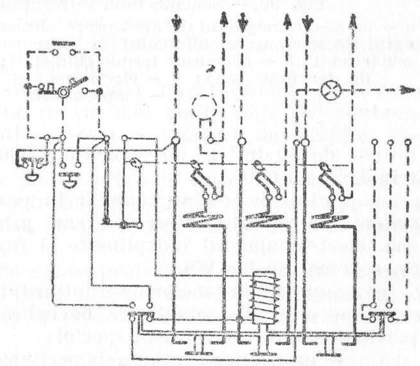


Fig. 89.— Schema electrică a unui întreruptor automat în ulei cu comandă la distanță, pentru protecția motoarelor.

Anclanșarea întreruptoarelor poate fi efectuată cu electromagnet (solenoid), la un curent nominal pînă la aproximativ 350 A. La curenți nominali mai mari decît 600 A, sînt necesare dispozitive de acționare cu electromotor (servomotoare) de anclanșare. Acest ultim mijloc de acționare, prezintă — la anclanșare următoarele avantaje, față de electromagneți:

— nu absorb curenți de intensitate mare;

— operația nu se execută cu șocuri.

Deși durata de închidere prin servomotor a întreruptorului este mai mare decît în cazul acționării electromagnetice, totuși, această durată este mai mică

decît 0,5 s. De aici rezultă mărirea duratei de serviciu a părților mecanice ale întreruptorului, fără micșorarea puterii lui de anclanșare.

Acționarea pneumatică (cu aer comprimat) prezintă o siguranță foarte mare în exploatare și permite o conectare rapidă, absolut necesară în regim de funcționare cu frecvență mare de conectări. Cantitatea de aer necesară este destul de redusă. Deaceea, în lipsa unei instalații de aer comprimat sau a unui grup compresor, se pot folosi, la astfel de întreruptoare, butelii cu aer comprimat; de exemplu, cu o

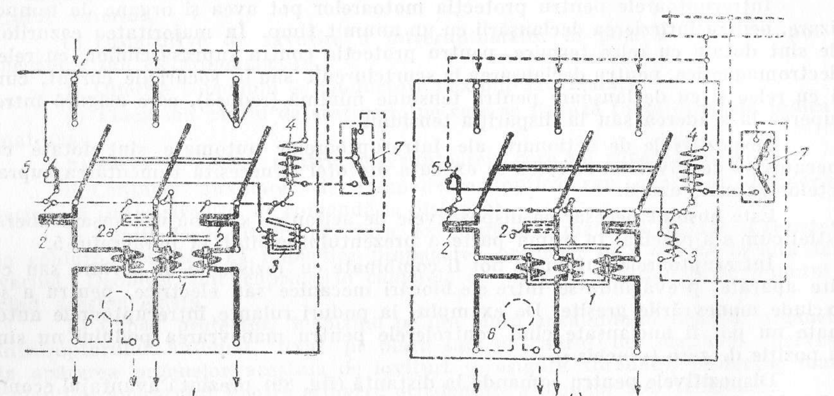


Fig. 90. — Schema unui întreruptor automat cu declanșare la distanță:
a — cu electromagnetul de anclanșare alimentat în curent alternativ; *b* — cu electromagnetul de anclanșare alimentat în curent continuu; *1* — declanșor electromagnetic de scurtcircuit; *2* — declanșor termic (bimetal); *2a* — al treilea declanșor termic; *3* — declanșor de tensiune nulă; *4* — electromagnet de anclanșare; *5* — contact auxiliar la *3*; *6* — ampermetru; *7* — buton de comandă.

butelie de 50 dm³ se pot executa 4 000—5 000 de conectări ale unui întreruptor tripolar de 1 000 A.

Reținerea disjunctoarelor în poziția « închis » poate fi realizată printr-un sistem de zăvorire mecanică sau printr-un electromagnet. În acest din urmă caz, electromagnetul îndeplinește și funcțiunea de declanșor la tensiune minimă (v. schema din fig. 90).

Suportul organelor unui întreruptor automat poate fi:

— o placă izolantă de bachelită, de marmoră, de ardezie, de eternit, de pertinax sau de lemn tratat special;

— un cadru cu izolație de pertinax presat, sau de piese izolante de bachelită, de porțelan sau de steatit.

Este indicat ca traseele de conturnare ale întreruptoarelor să fie verticale, pentru a împiedica depunerea prafului pe ele.

β) *Dimensionarea la puterea de rupere.* Principala caracteristică de construcție a unui întreruptor automat o constituie *puterea de rupere* a acestuia. Prin putere de rupere se înțelege produsul dintre intensitatea maximă a curentului pe care-l poate rupe, tensiunea nominală și factorul de fază ($\sqrt{3}$, în cazul curentului trifazat) și care se exprimă în kVA sau MVA. Puterea de rupere a unui întreruptor automat este determinată de capacitatea de rupere a acestuia și, deci, de intensitatea maximă a curentului pe care-l poate rupe în caz de scurtcircuit, spre deosebire

de întreruptoarele neautomate, la care puterea de rupere este determinată de curentul maxim de funcționare în regim normal.

În consecință, în cazul întreruptoarelor automate se definește o *putere de rupere de scurtcircuit*, pe cînd aparatele neautomate se caracterizează prin *puterea nominală de rupere.*

Pentru a dimensiona întreruptoarele automate la puterea de rupere, trebuie cunoscută, în toate cazurile posibile, intensitatea curentului care poate interveni în caz de scurtcircuit. În cazul curentului continuu, curenții de scurtcircuit pot atinge valori foarte mari, limitate numai de reacțiunea indusurilor generatoarelor și de inductanța circuitelor aeriene, care intervine la variația bruscă a curentului, în caz de scurtcircuit.

În cazul cel mai frecvent în practică, al transmiterii de energie electrică sub forma de curent alternativ, mărimea curenților de scurtcircuit este determinată de puterea generatoarelor care alimentează rețeauna și de reactanța întregului circuit de alimentare.

Se pune astfel, problema construirii unor întreruptoare automate care să suporte întreruperea curenților de scurtcircuit, fără a suferi deteriorări ale căilor de curent sau ale releelor (declanșoarelor) lor și fără ca elementele termice (bimetale) să sufere modificări ale caracteristicilor lor.

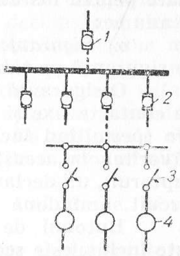


Fig. 91. — Siguranțe principale de protecție contra scurtcircuitelor:
1 — siguranță principală; *2* — siguranță de grupe (de coloane); *3* — întreruptor pentru protecția motoarelor; *4* — motoare electrice.

În cazul cînd întreruptoarele nu ar putea suporta curentul de scurtcircuit care se poate produce, este necesară protejarea lor prin siguranțe fuzibile, care să întrerupă curentul înainte ca intensitatea acestuia să depășească limita admisibilă. În majoritatea cazurilor, acest rol îl îndeplinesc siguranțele generale de pe tabloul principal sau siguranțele coloanelor de alimentare, conform schemei din fig. 91.

γ) *Dispozitive auxiliare.* Cele mai multe dintre întreruptoarele automate sînt echipate cu contacte auxiliare, uneori cu mai multe serii de contacte pentru scopuri diferite: semnalizări optice, acustice, blocări de circuite, comenzi, etc.

Prin contactele de semnalizare se poate indica la orice distanță poziția întreruptorului: închis sau deschis. Prin contactele de blocare se poate împiedica executarea de comenzi greșite; deasemenea, se poate impune o anumită regulă sau succesiune în comenzile care se dau.

Deseori, întreruptoarele automate cu capac protector sau montate în cutii capsulate, sînt dotate și cu ampermetru. Este necesar ca acest ampermetru să aibă o scară de măsură prelungită, pentru a suporta eventualele supraîncărcări accidentale.

La întreruptoarele automate capsulate sau protejate cu capac, neputîndu-se vedea poziția contactelor, se vor monta totdeauna indicatoare vizibile ale poziției: « închis » sau « deschis »

În cazul întreruptoarelor care se anclanșează cu ajutorul unui electromagnet și care sînt menținute în poziția « închis » de un dispozitiv de zăvorire, electromagnetul se dimensionează pentru funcționare de scurtă durată; deaceea, îndată ce închiderea a fost realizată, trebuie să se producă automat scoaterea electromagnetului de sub tensiune.

În cazul folosirii unor organe speciale de comandă a întreruptoarelor automate, ca: automate de presiune, termostate, întreruptoare de nivel etc., care dau o comandă de durată, este necesar a echipa electromagneții cu un întreruptor,

care să deschidă automat circuitul de comandă, imediat după ce au executat comanda dată.

Acest din urmă întreruptor trebuie să fie blocat în sensul evitării efectului de pompare, în cazul cînd declanşoarele ar provoca deschiderea întreruptorului automat principal de protecţie.

84. **Tipuri uzuale de întreruptoare automate.** După cum s-a arătat la clasificarea întreruptoarelor automate, un tip uzual îl reprezintă întreruptoarele automate pentru instalaţii de iluminat, care la rîndul lor se împart în două categorii şi anume:

α) *Siguranţe automate*, denumite astfel, fiindcă se pot înşuruba în socluri de siguranţă pe tablouri de iluminat electric (fig. 92).

O siguranţă automată conţine, concentrate într-un spaţiu restrîns, o pereche de contacte fixe şi una de contacte mobile, un sistem de pîrghii completat cu un arc (permiţînd închiderea manuală prin apăsarea pe un buton de anclanşare şi zăvorîrea în această poziţie), butonul de declanşare manuală (deszăvorînd întreruptorul), un declanşor termic de supraintensitate şi unul electromagnetic de scurtcircuit, amîndouă cu efect de deszăvorîre.

Butonul de anclanşare, care rămîne apăsat în tot timpul cît automatul este închis, este scos înafară la declanşare.

Se întrebuinţează pentru curent nominal pînă la 25 A.

β) *Întreruptoare automate mici* de tablou, închise în cutii protectoare şi cu mîner de acţionare (fig. 93), de cele mai multe ori de forma piesei de manevră dela

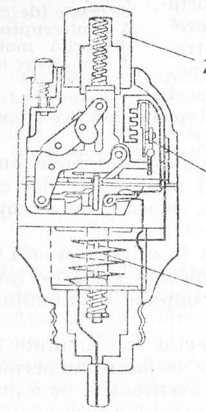


Fig. 92. — Siguranţă automată cu buton (secţiune): *1* — buton de cuplare; *2* — releu termic; *3* — releu electromagnetic.

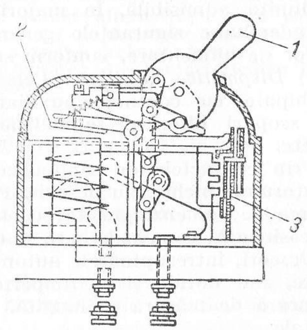


Fig. 93. — Întreruptor automat mic, de tablou, cu pîrghie: *1* — mîner de acţionare; *2* — releu electromagnetic; *3* — releu termic.

întreruptoarele basculante. Prin ridicarea acestei piese, automatul este zăvorît în poziţia de închidere. Declanşarea se face fie numai prin declanşor electromagnetic, fie prin declanşor termic şi electromagnetic, ca la siguranţele automate. La declanşare, piesa de manevră este adusă în poziţia de jos. Aceste automate servesc şi la protecţia receptoarelor de forţă absorbind pînă la 25 A, şi anume, cîte trei întreruptoare monopolare grupate pe un circuit trifazat.

γ) *Întreruptoare automate de protecţie a motoarelor.* Servesc la scoaterea de sub tensiune a motoarelor electrice în cazuri de supraintensităţi, scurtcircuite sau cînd acestea rămîn fără tensiune. În acest scop, ele se leagă pe circuitul de ramificaţie al fiecărui motor, imediat înaintea acestuia. Întreruptoarele de protecţie a motoarelor se realizează în cele mai multe cazuri tripolare, întrucît marea majoritate a motoarelor electrice este trifazată. Întreruptoarele bipolare asigură protecţia motoarelor de curent continuu.

Un întreruptor automat (disjunctor) tripolar din această categorie are, deobicei, două declanşoare termice, pe fazele extreme şi trei declanşoare electromagnetice de scurtcircuit (cîte unul pe fază), cum şi un declanşor de tensiune nulă (sau minimă). Este inutil ca declanşoarele termice care servesc la protecţia contra supraintensităţilor să fie montate pe toate trei fazele, întrucît, într-un circuit trifazat fără fir neutru, o supraintensitate produsă pe o fază se întoarce neapărat pe celelalte două şi, astfel, în orice caz este percepută de un declanşor. La motoarele electrice însă, curenţii pe faze sînt deobicei egali, iar supraintensităţile se produc numai în cazuri rare pe o singură fază, la defecte interne în motor.

Declanşoarele electromagnetice se montează pe toate trei fazele, fiindcă scurtcircuitul se poate produce numai pe o fază.

Întreruptoarele automate de curent continuu au un singur declanşor termic şi unul electromagnetic.

Declanşorul de tensiune nulă (minimă) se montează în derivaţie între două faze ale aparatelor, provocînd declanşarea în cazul cînd tensiunea la bornele motorului scade sub o anumită limită. În acest caz, pornirea din nou a motorului nu se mai poate face decît după închiderea întreruptorului, manipulantul fiind obligat ca înainte de aceasta să aducă fie reostatul de pornire la poziţia de maximum de rezistenţă, fie pornitorul stea-triunghi în poziţia stea.

În construcţia întrebuinţată, în general, la întreruptoarele mai mici, fiecare declanşor acţionează prin rotirea unui *ax de declanşare*, care la rîndul lui deschide zăvorul care ţine închis întreruptorul, prin acţiunea unor arcuri. În acest mod, axul de acţionare al întreruptorului este deszăvorît, rotindu-se sub acţiunea arcurilor de declanşare şi, odată cu el, şi braţele purtînd contactele mobile, calate pe acest ax.

La unele aparate de curenţi mai mici, zăvorîrea este asigurată de forţa portantă a unui electromagnet (tipul contactor; subcap. K).

În varianta în care, în locul declanşoarelor termice şi electromagnetice de scurtcircuit, se întrebuinţează *relee* de aceeaşi categorie, care în caz de acţionare deschid circuitul de excitaţie al declanşorului de tensiune minimă, declanşarea este determinată numai de acesta din urmă.

Întreruptoarele automate de protecţie a motoarelor se întrebuinţează într-o gamă de curenţi nominali de la 10 pînă la 600 A, întrucît nu se construiesc motoare electrice pentru curenţi mai mari, preferîndu-se realizarea lor la tensiuni de 3 sau 6 kV, la puteri de ordinea de mărime corespunzătoare (peste 200 kW).

În fig. 94 este reprezentat un întreruptor de protecţie a motoarelor, de tip mic, fără cutie exterioară de protecţie (analoagă celei din fig. 88, pentru întreruptor neautomat). În figură se văd, fixate de partea superioară a plăcii de bază, cele trei contacte fixe în formă de V, iar imediat la dreapta contactelor fixe ale celor doi poli din stînga figurii, se disting cele două declanşoare termice, în formă de buclă, cu firul de încălzire înfăşurat pe ele. Se mai distinge axul principal (orizontal) de comandă, pe care sînt calate cele trei contacte mobile, în poziţia « deschis », iar dedesubtul acestuia se vede axul de declanşare terminat cu maneta pentru acţionare manuală. Cele trei declanşoare electromagnetice de scurtcircuit sînt plasate în spatele axului de declanşare, pe care se mai observă cele trei piese, prin a căror împingere de către declanşoarele electromagnetice se roteşte axul de declan-

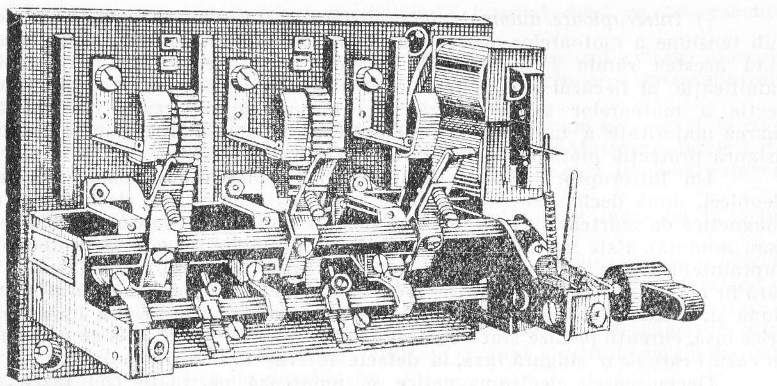


Fig. 94. — Intreruptor automat mic (disjunctor) pentru protecția motoarelor (fără capac protector și camere de stingere).

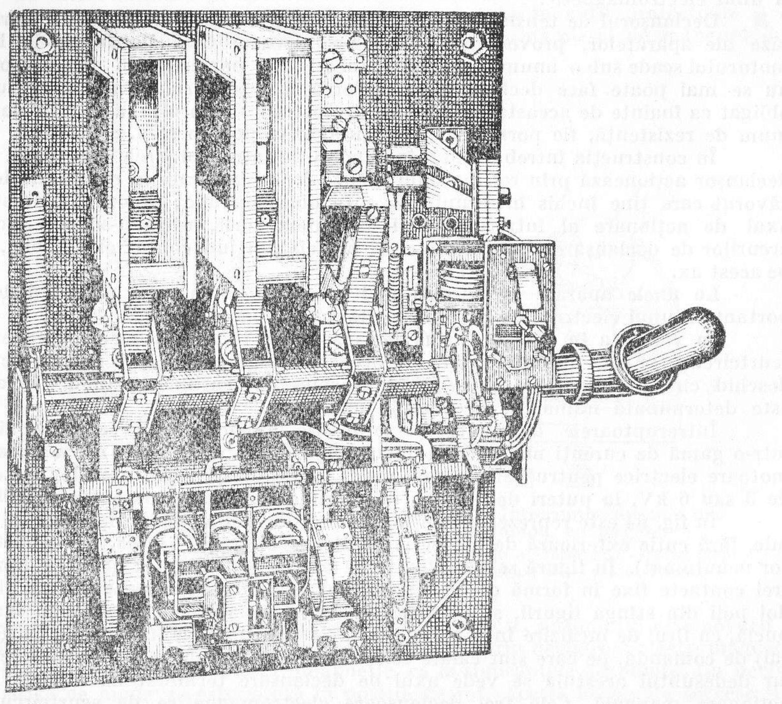


Fig. 95. — Intreruptor automat mare (disjunctor) pentru protecția motoarelor (cu două camere de stingere montate).

șare. Deasemenea, între aceste trei piese sînt calate, pe același ax, piesele pentru acționarea prin declanșoarele termice. În sfîrșit, în partea din dreapta, sus, se găsesc declanșorul de tensiune nulă (minimă) și pîrghia calată la capătul axului de declanșare, pe care îl lovește armătura declanșorului la scăderea tensiunii, rotind astfel axul.

Întreruptorul reprezentat în fig. 95 are montate camerele de stingere la doi poli, distingîndu-se: declanșorul de tensiune nulă (minimă) în dreapta figurii și axul principal de comandă și de declanșare, dispoziția celorlalte declanșoare

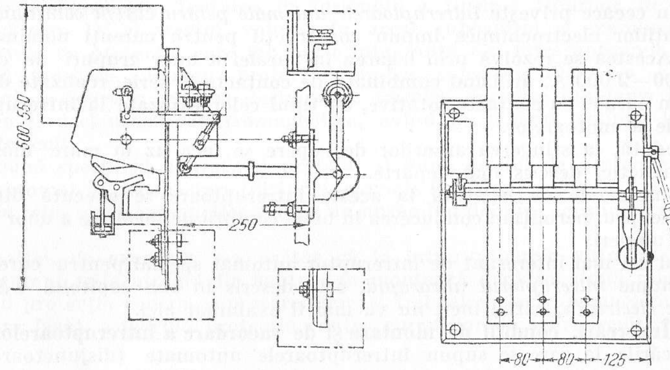


Fig. 96. — Intreruptor automat (disjunctor) sovietic din seria A 2000 montat în spatele tabloului, cu acționare din fața tabloului.

fiind analogă celei din fig. 94. Întreruptoarele descrise mai înainte sînt cu rupere în aer și pentru montare în fața tablourilor. Sînt însă foarte multe utilizate, în special în stațiile de transformare și de conectare, întreruptoarele montate în spatele tablourilor cu acționarea prin pîrghii și prin manetă montată în fața tabloului (fig. 96). În această figură se văd camerele de stingere, deasupra contactelor, pe fiecare fază. În dreapta s-a indicat prin linie punctată poziția manetei de comandă, în cazul cînd se montează aparatul în fața tabloului.

Cît despre întreruptoarele automate (disjunctoare) de joasă tensiune, cu ruperea în cuvă de ulei, etanșă, ele se vor descrie mai departe, la paragraful tratînd despre aparatajul capsulat.

δ) *Intreruptoare automate pentru tablouri.* Sînt echipate cu declanșoare sau cu relee electromagnetice de curent maxim, sau cu relee termice, dotate cu organe de temporizare. Declanșoarele sau releele se montează pe toate trei fazele, întrucît astfel de întreruptoare se montează deobicei pe plecările de la tablourile generale de joasă tensiune sau pe plecările de joasă tensiune de la transformatoare. Acestea sînt deobicei circuite trifazate cu patru fire, în care scurtcircuitele influențează numai o fază, la punerea ei la pămînt, cînd neutrul este și el pus la pămînt.

Temporizarea este necesară, întrucît aceste întreruptoare fac deobicei parte din sisteme de protecție selectivă cu timpi de declanșare eșalonați. Deobicei, releele respective au dispozitive speciale pentru declanșare instantanee la scurtcircuit.

În sfîrșit, în unele cazuri întreruptoarele de stații sînt echipate cu relee sau cu declanșoare funcționînd la tensiune maximă, sau wattmetrice, funcționînd la curent invers, respectiv la întoarcere de energie. Întreruptoarele de stații nu au deobicei declanșoare de tensiune nulă (minimă). Ele se construiesc pentru intensi-

tăţi nominale cuprinse între 60 şi 1 000 A (1 500 A), construindu-se în mod excepţional şi tipurile de 2 000 şi 3 000 A, pentru partea de joasă tensiune a transformatoarelor scoborîtoare de 1 000 şi 1 800 kVA.

Pentru toate întreruptoarele de protecţie a motoarelor şi de staţii cu curenţi nominali, mai mari decît 160—200 A, se prevede montarea declanşoarelor şi a releelor pe secundarele unor tranformatoare (reductoare) de intensitate. În sfîrşit, la întreruptoarele de staţii de la 350 A în sus, declanşoarele se înlocuiesc prin relee, lucrînd toate asupra unui declanşor electromagnetic de putere suficientă pentru a realiza deszăvorirea în aceste cazuri.

ε) În ceeace priveşte *întreruptoarele automate pentru curent continuu*, cerinţele instalaţiilor electrochimice impun construcţii pentru curenţi nominali pînă la 30 kA. Acestea se rezolvă prin legarea în paralel a unor grupuri de contacte pentru 1 000—2 000 A, utilizînd combinaţii de contacte în serie, realizate de punţi mobile, şi în paralel cu contacte rotative, de tipul celor utilizate la întreruptoarele de protecţie a motoarelor.

Totodată, la stingerea arcurilor de rupere se face uz în mare măsură de suflajul magnetic, descris mai departe.

Conductoarele de legătură la aceste întreruptoare se execută din lame multiple de cupru, permiţînd conducerea în bune condiţii de încălzire a unor curenţi de mii de amperi.

Tipul cel mai interesant de întreruptor automat special pentru curent continuu şi anume *întreruptorul ultrarapid*, este descris în sub capitolul « *Substaţii de tracţiune electrică* », astfel încît nu va mai fi examinat aici.

85. **Încercări, condiţii de montare şi de racordare a întreruptoarelor automate.** Încercările la care se supun întreruptoarele automate (disjunctoarele) de joasă tensiune sînt, în principiu, aceleaşi ca cele descrise la întreruptoarele neautomate cu pîrghie, cu excepţia încercării capacităţii de rupere, care se face la curentul de scurtcircuit corespunzător la o tensiune cu 10 % mai mare decît cea nominală, pentru un număr de 10 declanşări automate. Dacă aparatul are declanşarea liberă, se fac şi cinci conectări pe scurtcircuit. Timpul total nu va depăşi 30 min.

Pentru a putea efectua reglarea declanşoarelor sau a releelor întreruptoarelor automate, acestea vor fi astfel racordate încît, în poziţia « deschis », contactele mobile să nu fie sub tensiune.

Fac excepţie întreruptoarele pentru interconexiune a reţelelor sau pentru cuplarea barelor de distribuţie.

Pentru a evita eforturile de tracţiune sau de compresiune, care pot interveni la întreruptoarele de curenţi mari, prin dilatarea sau prin contractarea barelor colectoare, se vor utiliza piese flexibile de racordare.

Pentru întreruptoarele cu camere de stingere deschise la partea superioară se vor lăsa, între partea superioară a acestora şi piesele sub tensiune sau piesele puse la pămînt, următoarele distanţe minime:

— la curet continuu pînă la 250 V, minimum 0,25 m;
— la curent alternativ pînă la 250 V, minimum 0,20 m;
— la curent continuu peste 250 V, minimum 0,50 m;
— la curent alternativ peste 250 V, minimum 0,40 m.

Deasemenea, distanţele orizontale dintre marginile camerelor de stingere şi piesele sub tensiune nu vor fi mai mici de 0,2 m.

Nu se admite folosirea întreruptoarelor automate fără dispozitivele de stingere a arcului.

În cazul folosirii întreruptoarelor automate în ulei, racordate la tablouri de distribuţie capsulate, se recomandă montarea unui separator între întreruptor şi barele de distribuţie. Separatorul permite controlul şi reglarea întreruptorului

sau executarea unor mici reparaţii la întreruptorul automat, fără pericol de electrocutare.

Se va observa totdeauna ca nivelul uleiului să fie cel normal, folosindu-se ulei curat de transformator.

După fiecare scurtcircuit se va controla întreruptorul şi se vor curăţi contactele arse (perlate).

I. Declanşoare şi relee

86. **Generalităţi.** Tratarea în ansamblu a tuturor tipurilor de relee este făcută în cap. IV al acestui volum. In acest subcapitol se examinează numai dispozitivele de protecţie care fac parte integrantă din întreruptoarele automate de joasă tensiune. Pentru protecţia contra suprasarcinilor s-a arătat mai înainte că se folosesc relee şi declanşoare termice, formate din lame bimetalice, sau relee şi declanşoare electromagnetice, avînd, în general, acţiune instantanee la scurtcircuit.

După specificul aparatului protejat şi după gradul de protecţie dorit, un aparat automat de deconectare (disjunctor) poate fi echipat numai cu relee termice, numai cu relee electromagnetice sau cu un ansamblu de relee termice şi electromagnetice.

Astfel, de exemplu, s-a arătat că la întreruptoarele automate tripolare, pentru curent trifazat fără fir neutru, se montează deobicei două relee termice, asigurînd protecţia contra suprasarcinilor şi trei relee electromagnetice (cîte unul pe fiecare fază), asigurînd protecţia contra curenţilor de scurtcircuit.

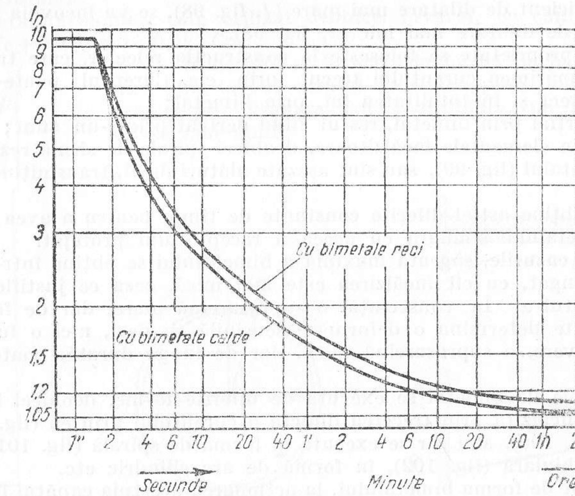


Fig. 97.— Variaţia timpului de declanşare în funcţie de curent la un releu (declanşor) termic.

87. **Relee şi declanşoare termice.** α) *Utilizare şi condiţii tehnice.* Releele şi declanşoarele termice servesc la protecţia circuitelor împotriva suprasarcinilor de durată.

Caracteristica lor de funcţionare este strict dependentă de intensitatea curentului (fig. 97).

Astfel, timpul care se scurge între începutul suprasarcinii şi declanşarea întreruptorului respectiv, datorită declanşorului (releului) termic, este cu atît mai mic, cu cît supratemperatura datorită suprasarcinii este mai mare.

Releele şi declanşoarele termice sînt caracterizate prin intensitatea lor nominală, faţă de care trebuie să îndeplinească următoarele condiţii:

— la o sarcină mai mare cu 5 % decît cea nominală, să nu provoace declanşarea timp de două ore;

— la o sarcină mai mare cu 20 % decît cea nominală, să determine declanşarea în timp de două ore;

— la o sarcină mai mare cu 50 % decît cea nominală, să provoace declanşarea în timp de două minute;

— în cazul aparatelor cu întîrziere redusă, pentru protecţia motoarelor, la o sarcină de cinci ori mai mare decît cea nominală, nu trebuie să provoace declanşarea timp de 0,5 s;

— în cazul aparatelor cu întîrziere mare, pentru protecţia motoarelor, întreruptorul nu trebuie să declanşeze timp de 5 s la o sarcină de şase ori mai mare decît cea nominală.

β) *Elementul de bimetal.* Dată fiind întrebuinţarea lui foarte răspîndită la protecţia instalaţiilor de joasă tensiune, se vor da, aici, unele completări, afară de cele care vor fi expuse mai departe în capitolul « Relee de protecţie».

Dacă elementul de bimetal, rezultat din unirea pe cale mecanică a două metale cu coeficienţi de dilatare liniară diferiţi, este încălzit, fiecare dintre cele două metale se lungeşte cu o cantitate proporţională cu coeficientul lui de dilatare. Deoarece coeficienţii sînt diferiţi, iar metalele sînt solidarizate, elementul de bimetal cu coeficient de dilatare mai mare (*1*, fig. 98), se va încovoia spre metalul cu coeficientul de dilatare mai mic (*2*, fig. 98).

Această proprietate se foloseşte la construcţia releelor, care trebuie să fie influenţate de mărimea curentului trecut prin ele. Curentul poate fi trecut:

— fie direct şi în totalitatea lui, prin bimetal;

— fie parţial prin bimetal, restul fiind derivat printr-un şunt;

— fie prin elementele încălzitoare, deobicei spirale de sîrmă rezistentă care înconjoară bimetalul (fig. 99), sau sînt aşezate alături de el, transmiţîndu-i căldura prin radiaţie.

Se pot obţine astfel diferite constante de timp, pentru a avea o curbă de încălzire a bimetalului similară cu aceea a receptorului protejat.

În toate cazurile, săgeata maximă a bimetalului se obţine într-un timp cu atît mai îndelungat, cu cît încălzirea este mai mică, ceea ce justifică condiţiile impuse la punctul α. În consecinţă, o suprasarcină mare, dar de foarte scurtă durată, nu poate determina o deformare sensibilă şi, deci, nici o funcţionare a bimetalului. Invers, o suprasarcină mică, dar de lungă durată, poate determina declanşarea.

Elementele de bimetal se execută de diferite forme, deobicei în formă de lamă dreaptă, încălzită prin trecerea directă a curentului prin ea (fig. 98), sau în formă de U (fig. 100). Mai rar se execută în formă de spirală (fig. 101), în formă de lamă triunghiulară (fig. 102), în formă de arc cilindric etc.

Indiferent de forma bimetalului, la acţionarea acestuia capătul liber loveşte, la săgeata maximă, un excentric sau o pîrghie, determinînd prin aceasta fie rotirea axului de declanşare, fie deschiderea unor contacte din circuitul declanşorului de tensiune minimă.

γ) *Materiale utilizate la confecţionarea bimetalelor.* Unirea a două metale se obţine în cele mai bune condiţii, prin sudare şi prin laminare repetată. Cele două metale folosite trebuie să aibă aproximativ aceeaşi rezistenţă mecanică, pentru ca, prin laminare, prin prelucrare şi prin încălzire, tensiunile interne să devină identice.

Afară de aceasta, pentru buna funcţionare a bimetalului, este necesar ca el să nu aibă deformaţii iniţiale.

Pentru a-i asigura o sensibilitate ridicată, trebuie să se folosească în bimetal un metal *termoinert*, cu coeficient de dilatare cît mai mic, şi unul *termoactiv*, cu coeficient de dilatare cît mai mare.

Materialele utilizate sînt arătate în tabela 23 unde Θ_{max} este temperatura maximă de lucru, în °C, $\alpha_1 - \alpha_2$ — diferenţa medie a coeficienţilor de dilatare liniară,

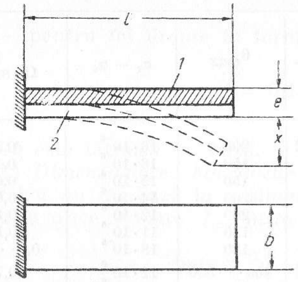


Fig. 98. — Element de bimetal: *1* — metal termoactiv (cu coeficient de dilatare mai mare); *2* — metal termoinert (cu coeficient de dilatare mai mic).

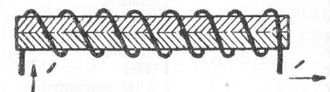


Fig. 99. — Element de bimetal încălzit indirect.

iar ρ — rezistivitatea metalului, în $\Omega \cdot mm^2/m$ (cele două metale fiind considerate de aceeaşi grosime).

Ca metal termoinert este utilizat deobicei invarul, cu compoziţia: 36,1 % Ni + 63,1 % Fe + 0,4 % Mn + 0,4 % Cu.

Bimetalul se livrează în formă de benzi, avînd lăţimea pînă la 150 mm şi grosimea pînă la 5 mm. El este marcat prin gravare sau poansonare, pe partea care se dilată mai mult.

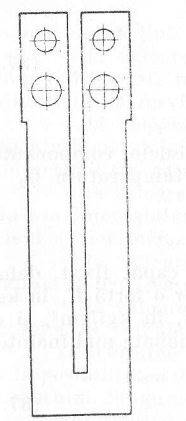


Fig. 100. — Element de bimetal în formă de U.

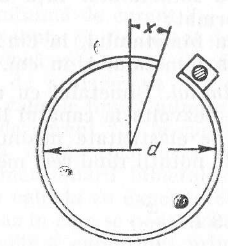


Fig. 101.— Element de bimetal în formă de spirală plană.

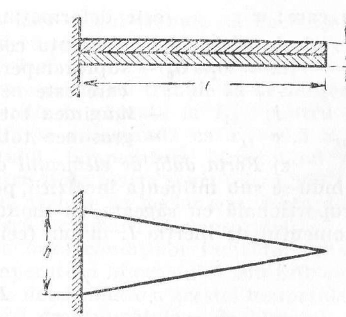


Fig. 102. — Element de bimetal în formă de lamă triunghiulară.

δ) *Deformaţia elementului de bimetal.* Pentru simplificare, se fac următoarele aproximaţii:

— încălzirea bimetalului este uniformă;

secțiunea transversală a bimetalului rămîne plană și perpendiculară pe axa ei longitudinală, după deformație;

— coeficientul de dilatare liniară rămîne constant.

Tabela 23

Constituția bimetalului		θ_{max} °C	$\alpha_1 - \alpha_2$	ρ $\Omega \cdot mm^2/m$
Metalul termoinert	Metalul termoactiv			
Invar	27% Ni+68% Fe+5% Monel	200	$16 \cdot 10^{-6}$	0,82
Invar	Alamă	150	$16 \cdot 10^{-6}$	0,13
Invar	Cupru tras	150	$15 \cdot 10^{-6}$	0,08
Invar	Constantan	200	$14 \cdot 10^{-6}$	0,62
Invar	Nichel	200	$12 \cdot 10^{-6}$	0,17
Invar	Fier	150	$11 \cdot 10^{-6}$	0,18
Invar	Oțel nemagnetic	120	$18 \cdot 10^{-6}$	0,7···0,8
Feronichel cu 42% Ni	27% Ni+68% Fe+5% Monel	400···500	$12 \cdot 10^{-6}$	0,71
Feronichel cu 42% Ni	Constantan	350	$11 \cdot 10^{-6}$	0,55
Feronichel cu 42% Ni	Nichel	400	$9 \cdot 10^{-6}$	0,16
Feronichel cu 42% Ni	42% Ni+53% Fe+5% Monel	150···350	$9 \cdot 10^{-6}$	0,59

Cu aceste ipoteze și cu notațiile din fig. 98, rezultă pentru deformațiile elementelor de bimetal, expresiile:

pentru foi drepte:

$$x = 0{,}75\,(\alpha_1 - \alpha_2)\,\tau\,\frac{l^2}{e}\,; \tag{87.1}$$

pentru spirale:

$$x = 0{,}24\,(\alpha_1 - \alpha_2)\,\tau\,\frac{l^2}{e}\,, \tag{87.2}$$

în care: x — este deformația (săgeata), în cm;

$\alpha_1 - \alpha_2$ — diferența coeficienților de dilatare ai metalelor componente;

$\tau = \theta_1 - \theta_0$ — supratemperatura bimetalului față de temperatura θ_0 la care este nedeformat;

l — lungimea totală a bimetalului, în cm;

e — grosimea totală a bimetalului, în cm.

ε) *Forța dată de elementul de bimetal.* Bimetalul cu un capăt fixat, deformîndu-se sub influența încălzirii, poate dezvolta la capătul liber o forță F, în kgf, proporțională cu săgeata, cu modulul de elasticitate mediu E, în kgf/cm², și cu momentul de inerție I, în cm⁴ (celelalte notații fiind cele menționate mai înainte):

$$F = 3\,EI\,\frac{x}{l^3}\,, \tag{87.3}$$

de unde se poate obține, folosind aceleași notații ca în relațiile (87.1) și (87.2):

— pentru foi de secțiune dreptunghiulară:

$$F = 0{,}188\,(\alpha_1 - \alpha_2)\,E\tau\,\frac{be^2}{l}\,,$$

în care b este lățimea lamei, în cm;

— pentru spirale cu raza interioară r, în cm:

$$F = 0{,}25\,(\alpha_1 - \alpha_2)\,E\tau\,\frac{be^2}{r}\,;$$

— pentru foi drepte în formă de triunghi:

$$F = 0{,}125\,(\alpha_1 - \alpha_2)\,E\tau\,\frac{be^2}{l}\,,$$

în care b este lățimea la bază.

ζ) *Dimensionarea bimetalelor.* Fie I_n curentul nominal al releului termic. Acest releu nu lucrează la o singură valoare a curentului, ci se poate regla deobicei la orice valoare I_x, între limitele I_{min} și I_{max}. Deobicei:

$$I_{min} = 0{,}5\ldots0{,}6\ I_n \quad \text{și} \quad I_{max} = I_n\,.$$

Pentru valoarea I_x la care a fost reglat, releul trebuie să îndeplinească condițiile menționate mai înainte, și anume:

— să nu declanșeze la 1,05 I_x, în timp de două ore;

— să declanșeze la 1,2 I_x, în timp de două ore;

— să declanșeze la 1,5 I_x, în timp de două minute.

Dacă se notează:

$$I_{11} = 1{,}05\ I_{min}\ ; \quad I_{21} = 1{,}05\ I_{max}\,,$$

$$I_{12} = 1{,}2\ I_{min}\ ; \quad I_{22} = 1{,}2\ I_{max}\,,$$

trebuie să se țină seamă, în calculul de dimensionare, de următoarele condiții:

— la valoarea maximă de curent I_{22}, la care releul trebuie să lucreze un timp îndelungat, temperatura bimetalului nu trebuie să depășească temperatura admisibilă de serviciu, θ_{max};

— la valoarea minimă de curent I_{12}, la care releul trebuie să declanșeze, săgeata bimetalului trebuie să fie cel puțin egală cu spațiul mort necesar desfacerii contactului (în cazul releului), sau funcționării declanșorului (circa 1 mm);

— la valoarea minimă de curent I_{11}, la care releul nu trebuie să declanșeze, săgeata bimetalului trebuie să fie destul de diferită de săgeata la I_{12}, pentru ca releul să nu lucreze dacă este supus la vibrații (se recomandă ca $x_{11} = 0{,}5\ x_{12}$);

— la valoarea de scurtcircuit a curentului, temperatura bimetalului nu trebuie să depășească valorile limită admise pentru timp foarte scurt (circa 500°C);

— la valoarea de curent I_{12}, la care releul trebuie să declanșeze, forța dată de bimetal trebuie să depășească forța necesară acționării declanșorului.

Dificultatea dimensionării bimetalelor pe baza condițiilor indicate, constă în imposibilitatea de a calcula cu exactitate temperatura bimetalului sub influența curentului. Singurul caz în care se poate încerca o determinare a acestei temperaturi este cazul trecerii directe a curentului prin benzi dreptunghiulare de bimetal.

În acest caz se poate aplica formula cunoscută, însă cu factori de corecție care urmează să se stabilească experimental.

În cazul curentului de regim, supratemperatura este dată de relația:

$$\tau = \frac{\rho}{\alpha}\,\frac{I^2}{sp}\,,$$

în care: ρ este rezistivitatea, în $\Omega \cdot cm$ (valoarea din tabela 23 înmulţită cu 10^{-4});
α — cifra de transmisie a căldurii prin convecţie şi prin radiaţie, de ordinul de mărime 10^{-3} W/cm² grd.
s — secţiunea bimetalului, în cm², $s = b\,e$;
p — perimetrul secţiunii lamei bimetalice, în cm.

În cazul curentului de scurtcircuit, supratemperatura este dată de relaţia:

$$\tau = \frac{\rho}{c}\left(\frac{I}{s}\right)^2 t,$$

în care c este căldura specifică, exprimată în Ws/cm grd.;
t — durata curentului de scurtcircuit, în s.

88. **Relee şi declanşoare electromagnetice.** Pentru supraintensităţi depăşind de cîteva ori curentul nominal ($3 \ldots 10\ I_n$) se folosesc relee sau declanşoare electromagnetice, deobicei cu acţionare instantanee şi, în unele cazuri, cu acţionare temporizată.

Releele electromagnetice prezintă, faţă de siguranţe, avantajul că nu provoacă întreruperi în funcţionare. Preţul lor de cost şi cheltuielile de întreţinere aferente sînt mai reduse decît cele ale fuzibilelor.

Declanşarea întreruptorului este provocată, după cum s-a arătat, fie prin acţionare directă asupra sistemului mecanic de zăvorîre al întreruptorului, fie prin întreruperea circuitului bobinei de tensiune nulă.

Declanşoarele de tensiune minimă (nulă) comportă, în principiu, un electromagnet în formă de U, al cărui circuit magnetic se închide printr-o armătură mobilă articulată la un capăt, formînd cu celălalt capăt un braţ prelungit. La funcţionare normală, armătura stă atrasă de polii electromagnetului. Cînd, însă, tensiunea scade sub o anumită limită, forţa portantă a acestuia este învinsă de tensiunea unui arc antagonist, care deplasează armătura, braţul ei lovind o pîrghie sau un excentric, care provoacă rotirea axului de declanşare; sau, rotirea armăturii în jurul punctului ei fix roteşte solidar şi axul principal al întreruptorului, deschizîndu-l.

În cazul releelor sau declanşoarelor electromagnetice de scurtcircuit, armătura mobilă este trasă de un arc în funcţionare normală, determinînd un întrefier important între armătură şi polii electromagnetului. La producerea unor curenţi foarte mari, întrefierul este învins şi armătura este atrasă, determinînd rotirea axului de declanşare sau deschiderea unor contacte din circuitul declanşorului de tensiune minimă.

Electromagnetul declanşorului de tensiune nulă are un număr mare de spire de secţiune foarte mică, iar al celui de scurtcircuit cîteva spire din conductor gros.

Întreruptoarele automate trebuie să aibă un sistem de împiedicare a reanclanşării, cînd în reţea există un supracurent sau un scurtcircuit. De aceea, pentru a constata dacă reanclanşarea este posibilă, trebuie să se acţioneze prin dispozitivul de deconectare liberă, cu buton sau cu pîrghie. În cazul cînd reanclanşarea nu este posibilă, manipulantul este obligat să controleze cauza declanşării, putînd fi evitată astfel o reanclanşare pe un scurtcircuit.

Conform STAS 553-52, declanşoarele pentru tensiune minimă nu trebuie să acţioneze cînd tensiunea a scăzut cu 30 % faţă de tensiunea nominală şi să provoace declanşarea cînd tensiunea a scăzut la 35 % din valoarea ei nominală.

Declanşarea prin intermediul bobinei de tensiune minimă poate fi folosită şi pentru comanda la distanţă a declanşării întreruptorului.

Pentru a împiedica declanşarea, în cazul comutării pe alte circuite sau al scurtcircuitelor de scurtă durată, întreruptoarele pot fi echipate cu dispozitive de temporizare (pentru aproximativ 2 s).

Întreruptoarele echipate cu electromagnet, care serveşte, atît la anclanşare, cît şi la menţinerea întreruptorului anclanşat, au caracteristica de funcţionare similară cu cea a declanşoarelor de tensiune minimă.

Întreruptoarele în ulei sînt construite astfel, încît declanşează la aproximativ 60 % din tensiunea de lucru şi reanclanşează la 85 % din valoarea acesteia.

Se construiesc şi comutatoare automate, echipate cu declanşoare de tensiune minimă, care comută circuitul de pe sursa de curent normală pe altă sursă auxiliară, îndată ce tensiunea sursei principale scade sub o anumită valoare (deobicei, sub 60 % din valoarea nominală).

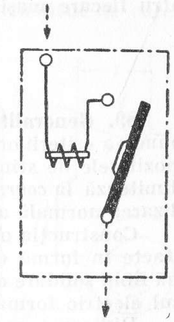


Fig. 103.— Intreruptor automat de curent minim.

Pentru comanda la distanţă pot fi folosiţi electromagneţi cu bobina de excitaţie parcursă în mod trecător de curentul principal. Uneori, aceşti electromagneţi trebuie să provoace declanşarea şi la o scădere a tensiunii cu 50 %.

Întreruptoarele automate de curent minim (fig. 103) se folosesc la generatoarele care servesc la încărcarea bateriilor de acumulatoare. Aceste întreruptoare declanşează automat, la scăderea curentului (aproximativ cu 5 % din valoarea lui nominală).

Întreruptoarele automate de curent invers (fig. 104) declanşează la valori de 10—15 % ale curentului normal de sens invers, întrucît, în acest caz, curentul invers slăbeşte în aşa măsură fluxul total al electromagnetului, încît armătura mobilă scapă, deschizînd întreruptorul şi, totodată, şi circuitul de tensiune. Deasemenea, ei declanşează la lipsa totală de curent şi de tensiune dar nu declanşează în cazul lipsei totale de curent, dacă tensiunea se menţine, întrucît fluxul datorit bobinei de tensiune este încă suficient pentru a ţine atrasă armătura.

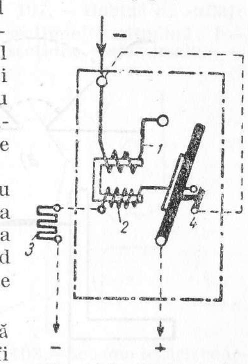


Fig. 104.— Intreruptor automat de curent invers:
1 — bobina de intensitate; 2 — bobina de tensiune; 3 — rezistenţă în serie pentru bobina de tensiune; 4 — întreruptor auxiliar pentru bobina de tensiune.

Întreruptoarele automate mai pot fi echipate cu declanşoare acţionînd la inversarea sensului puterii. Acestea trebuie, totodată, să poată provoca declanşarea chiar şi la tensiuni scăzute, la 10 % din tensiunea nominală, ţinînd seamă de faptul că, în caz de scurtcircuite, tensiunea poate să scadă pînă la această valoare.

Pentru a preveni declanşarea în caz de suprasarcină a întreruptoarelor de pe circuite importante, acestea pot fi echipate cu relee pentru comanda declanşării întreruptoarelor altor circuite de importanţă mai mică, menţinînd astfel în circuit maşinile şi aparatele de importanţă mare. Aceste declanşoare sau aceste relee nu acţionează, deci, asupra întreruptorului în care sînt integrate, ci prin intermediul unor contacte auxiliare comandă declanşarea la o serie de alte întreruptoare, care deservesc receptoare de importanţă mai mică.

Întreruptoarele automate mai pot fi echipate şi cu relee de protecţie proprie care provoacă declanşarea la apariţia unor defecte de izolaţie, cînd tensiunea carcaselor sau a cutiilor protectoare faţă de pămînt depăşeşte, în acest caz, o anumită valoare. Astfel de relee se montează în serie cu conducta de punere la pămînt a întreruptorului.

Conducta de punere la pămînt trebuie bine protejată contra deteriorărilor mecanice şi se recomandă să fie izolată.

Dacă mai multe motoare sau aparate sînt echipate cu relee de protecţie proprie contra defectării izolaţiei, nu este admis să se lege carcasele acestora la aceeaşi conductă de punere la pămînt, deoarece un defect de izolaţie la un motor sau aparat ar provoca declanşarea tuturor întreruptoarelor automate conectate la această conductă. Se vor utiliza, deci, conducte de punere la pămînt separate pentru fiecare maşină sau aparat.

J. Dispozitive de stingere a arcului

89. Generalităţi. Principiul suflajului magnetic. După cum s-a arătat la expunerea criteriilor de clasificare ale întreruptoarelor automate de joasă tensiune, dispozitivele de stingere (rupere) a arcurilor, la deschiderea în sarcină a acestora, se limitează la *coarnele de stingere*, la *suflajul magnetic* şi la *camerele de stingere*, realizarea normală a acestora din urmă fiind menţionată în paragrafele precedente.

Construcţia obişnuită a întreruptoarelor automate cu ruperea în aer prevede contacte în formă de coarne (fig. 105, *a*), sau prelungite prin coarne, acestea din urmă fiind solidare cu contactele sau făcînd parte din camera de stingere respectivă. Arcul electric format între coarne se ridică pe ele, se lungeşte şi astfel se rupe.

Ridicarea arcului pe coarne se produce de la sine, datorită curentului ascensional de aer cald, aer încălzit de însuşi arcul de deconectare, iar ruperea lui se produce datorită lungirii arcului între coarne, care se depărtează în sus.

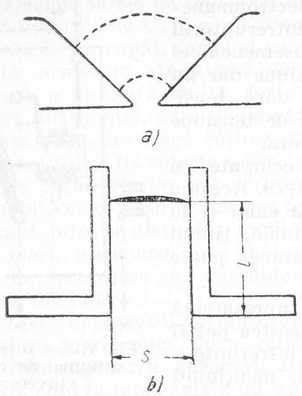


Fig. 105. — Coarne de stingere: *a* — înclinate; *b* — paralele.

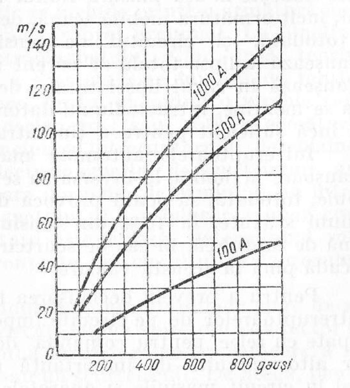


Fig. 106. — Diagrama vitezei de stingere a arcului în funcţie de cîmp.

Datorită contribuţiei profesorului sovietic O. B. Bronn, se ştie azi că nu lungirea arcului pe coarne este factorul hotărîtor în stingerea acestuia, ci deionizarea spaţiului arcului, prin mişcarea (pătrunderea) rapidă a aerului rece în coloana acestuia.

Într-adevăr, s-a arătat că arcul se stinge, în acest mod, foarte repede chiar pe coarne paralele, unde lungimea lui rămîne constantă (fig. 105, *b*).

Pe de altă parte, viteza arcului pe coarne, respectiv viteza lui de stingere, creşte considerabil, dacă se foloseşte un dispozitiv de *suflaj magnetic*, cu liniile de forţă transversale pe arc.

Pe baza acestor considerente, în întreruptoarele moderne, arcul este suflat printr-un cîmp magnetic puternic.

Variaţia vitezei de stingere a arcului în funcţie de intensitatea cîmpului magnetic (inducţiei, în gauşi), la diferite intensităţi ale curentului de întrerupt, este reprezentat în fig. 106.

Arcul electric, care poate fi asemănat cu un conductor străbătut de curent electric I (fig. 107, *b*), este supus unei forţe electrodinamice perpendiculare pe el:

$$F = \frac{lIB}{9{,}81 \cdot 10^6}\ [\text{kgf}], \qquad (89.1)$$

în care l este lungimea arcului, în cm;

I — intensitatea curentului de trecere în arc, în A;

B — inducţia, în gauşi.

Deoarece bobina de suflaj este străbătută de acelaşi curent I, inducţia magnetică dezvoltată prin acesta devine:

$$B = \frac{0{,}4\,\pi\, w\, I}{d}, \qquad (89.2)$$

în care w este numărul de spire al bobinei;

d — distanţa dintre armăturile care limitează bobina (fig. 107, *a*).

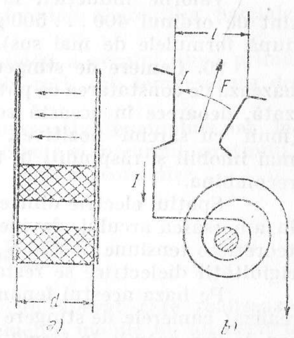


Fig. 107. — Bobină de suflaj: *a* — secţiune longitudină; *b* — secţiune transversală.

Lungimea circuitului magnetic prin fierul bobinei este neglijabil în raport cu lungimea acestuia.

Forţa electrodinamică acţionînd asupra arcului are totdeauna aceeaşi direcţie, perpendiculară pe coloana arcului, indiferent de sensul curentului. Conexiunile bobinajului trebuie însă făcute astfel, încît arcul să fie împins în afară de către forţa electrodinamică.

Deobicei, contactul fix de uzură (format dintr-unul din coarne) este separat de cel principal (de lucru) şi se leagă în serie cu bobina de suflaj electromagnetic (fig. 108).

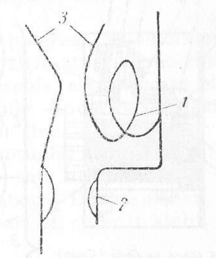


Fig. 108. — Schema legării coarnelor de suflaj în serie cu bobina de suflaj: *1* — bobină de suflaj; *2* — contacte de lucru; *3* — coarne

În acest caz, înfăşurarea bobinei trebuie să poată suporta o densitate de curent foarte mare, deoarece ea este străbătută într-o fracţiune de secundă de întreg curentul din circuit, în momentul conectării sau deconectării întreruptorului. Se pot realiza, astfel, bobine de suflaj foarte puternice (număr de amperspire mare), de dimensiuni relativ mici.

Forţa F se repartizează pe toată suprafaţa $l \cdot d$.

Presiunea asupra arcului va fi:

$$p = \frac{F}{l \cdot d} = \frac{BI}{9{,}81 \cdot 10^6 d} = \frac{0{,}4 \cdot \pi\, w \cdot I^2}{9{,}81 \cdot 10^6 d^2} = 0{,}128\, \frac{wI^2}{d^2}\, 10^{-6}\ \text{kgf/cm}^2.$$

Este evident că această expresie nu ţine seamă de o serie de factori care influenţează considerabil coeficientul numeric, dar care nu modifică cu nimic omogenitatea ei.

Interesează, deci, în construcția bobinelor de suflaj, ca distanța dintre armături să fie cît mai mică. Din formulă se observă că în cazul scurtcircuitelor suflajul este mult mai puternic, el crescînd cu pătratul curentului. La aparatele pentru curenți de mare intensitate se recomandă ca sîmburele bobinei de suflaj să fie executat din tole subțiri de oțel, pentru a nu se produce curenți turbionari (Foucault), care măresc defazajul fluxului față de curent, ceea ce trebuie evitat.

Valorile inducției, la întreruptoarele automate de construcție obișnuită, sînt de ordinul 400 . . . 500 gauși, iar ale presiunii, de 3 . . . 5 g/cm² (valori calculate după formulele de mai sus).

90. **Camere de stingere (deionizante).** Camerele de stingere deionizante se bazează pe constatarea că pătura de aer adiacentă catodului este foarte repede deionizată, deoarece în această zonă este concentrată cea mai mare parte a cationilor (ionii cu sarcini pozitive), astfel încît anionii (ionii cu sarcini negative), mult mai imobili și răspîndiți în tot spațiul, găsesc în această zonă posibilitatea de a se recombina.

Spațiul electric dintre electrozi, cu diferență de potențial inițial foarte mică, la amorsarea arcului, devine astfel în mod aproape instantaneu capabil să suporte teoretic o tensiune de 176 V, din care în practică se poate conta pe 130 V. Restul rigidității dielectrice se restabilește într-un ritm mai lent, cu 1–100 V/μs.

Pe baza acestui fenomen și pentru a grăbi deionizarea coloanei de arc, s-au realizat camerele de stingere « Deion », în care o serie de plăci suprapuse de cupru sau de fier arămit, în formă aproximativă de « U », izolate între ele și așezate în lungul arcului, au rolul unor catozi multipli. Fiecare interval dintre plăci poate să absoarbă aproape instantaneu o diferență de potențial de circa 130 V, tăindu-se astfel arcul în felii, după ce cîmpul magnetic datorit inducției în fier a atras arcul în șanțul pieselor în « U ». Un desavantaj al acestui dispozitiv îl constituie repartiția neuniformă a diferențelor de potențial, care, între plăcile de sus și de jos, sînt mult mai mari, decît între cele mijlocii. Uniformizarea se obține printr-un ecran electrostatic de izolant (pertinax sau micanită), acoperit cu foi de staniol în formă de suprafață cilindrică cu ax vertical, învelind pe dinafară plăcile menționate.

Prin acest ecran, raportul diferențelor de potențial U_{max}/U_{med} se reduce de la circa 9 la circa 2,6.

In fig. 109 s-a reprezentat, pe de o parte, o secțiune verticală printr-o cameră « Deion » și, pe de altă parte, vederea în plan a plăcilor de oțel, a celor de material izolant (fibră de pertinax) care mai subdivid încă intervalele dintre plăcile de oțel și, însfîrșit, garniturile de capete. Se mai distinge apoi în *b* ecranul menționat mai înainte. Ansamblul de plăci sau *grătarul deionic*, fiind dotat cu plăci (inserții) de oțel, acestea *sug* inspre interiorul grătarului (prin șanțul pieselor « U ») arcul de rupere, format

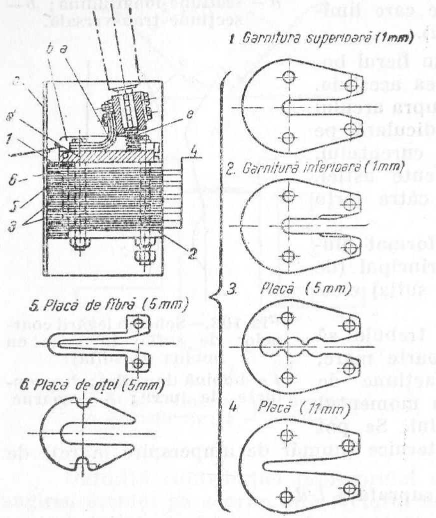


Fig. 109. – Cameră de stingere de tipul « Deion »:
a – legătură flexibilă; *b* – prag; *c* – ecran; *d* – contact fix; *e* – arc.

între contactul fix *d* și contactul mobil, care la deschiderea întreruptorului coboară vertical, pe la capetele exterioare ale șanțurilor pieselor « U ».

Deoarece între plăcile izolante există și plăci de fibră care emit gaze cînd se încălzesc, efectul combinat al lungimii arcului și al spălării acestuia de către gaze grăbește ruperea arcului.

De altfel, ruperea este grăbită și de faptul că acțiunile combinate ale cîmpurilor produse în șanțurile «U» și ale aerului rece ascendent, înlocuind aerul încălzit de arc, produc și o mișcare de rotație aproximativă în plan a arcurilor parțiale fracționate, în șanțurile pieselor « U ».

Aceste construcții au permis stingerea foarte rapidă a arcului după prima jumătate de perioadă, fără a uza contactele care rămîn reci, sub temperatura de emisie a electronilor.

Camerele « Deion » sînt specifice curentului alternativ, exemplul dat în fig. 109 fiind utilizat și la înaltă tensiune. Ele pot fi utilizate și în curent continuu, însă la o tensiune de cinci ori mai mică, ceea ce le face neeconomice.

K. Contactoare și ruptoare

91. **Definiții și clasificare.** Un *contactor* este un aparat care realizează deschiderea sau închiderea unui circuit și ale cărui elemente mobile nu au decît o poziție staționară, corespunzătoare *circuitului deschis.*

Pentru ca un contactor să fie închis, este, deci, necesar ca o forță exterioară să acționeze asupra elementelor sale mobile. Îndată ce această forță încetează să mai acționeze, contactorul se deschide de la sine. Un exemplu de contactor este butonul de sonerie.

Un *ruptor* este un aparat cu care se realizează deschiderea sau închiderea unui circuit și ale cărui elemente mobile nu au decît o poziție staționară, corespunzătoare *circuitului închis.* Pentru ca un ruptor să fie deschis, este necesar ca o forță exterioară să acționeze asupra elementelor sale mobile. Îndată ce această forță încetează să mai acționeze, ruptorul se închide de la sine.

Contactoarele și ruptoarele pot fi cu comandă: manuală, prin transmisii cu came, electromagnetică, cu servomotoare, pneumatică sau hidraulică.

Comenzile pot fi date prin butoane, pedale sau manete. De asemenea, se disting contactoare uni-, bi- și tripolare, pentru curenți tari și curenți slabi, cu mișcare liniară sau rotativă.

Contactoarele și ruptoarele pot fi asociate cu relee care să provoace închiderea sau deschiderea circuitelor și să îndeplinească funcția de întreruptoare automate de protecție sau să execute — la rîndul lor — automat, diferite comenzi.

În sfîrșit, se va arăta mai departe că există o deosebire, din punct de vedere constructiv, între contactorul de curent continuu și cel de curent alternativ.

Contactoarele se construiesc pentru curenți pînă la 3 000 A la joasă tensiune. Pentru tracțiune electrică, se construiesc pînă la 3 000 V în curent continuu și pînă la 6 000 V în curent alternativ.

92. **Principii de construcție și tipuri uzuale de contactoare.** În cele ce urmează se vor trata numai *contactoarele electromagnetice.* De asemenea, se vor descrie mai departe numai *contactoarele rotative*, cele cu mișcare liniară fiind deobicei utilizate în aplicații energetice și numai în mod excepțional în instalații. Forța exterioară care acționează asupra elementelor mobile ale acestor aparate este forța portantă datorită unui electromagnet, atrăgînd o armătură mobilă, pe care sînt așezate contactele mobile, acestea putînd fi antrenate și printr-un ax, solidar cu armătura mobilă.

În fig. 110 sînt arătate electromagnetul, armătura mobilă, care se poate roti în jurul axului O, avînd o distanță inițială e de polul de atracție, cum și contactele (fix, așezat pe suport, prin intermediul unui izolant, și mobil); cu distanța inițială A între ele, în poziția « deschis ».

Contactorul din fig. 110 este unipolar; dacă însă lățimea armăturii mobile permite așezarea pe ea a trei contacte, toate izolate între ele și de armătură, contactorul devine tripolar.

Fig. 111 reprezintă un ruptor, în care contactul mobil, fixat pe armătura mobilă, apasă pe contactul fix în poziția cu electromagnetul neexcitat, contactul fix fiind situat la capătul unei piese conductoare de prelungire.

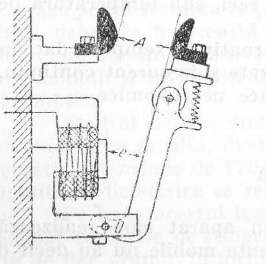


Fig. 110. Contactor.

Printr-o comandă electrică (închiderea unui buton) se excită în ambele cazuri electromagnetul, determinînd închiderea circuitului în cazul contactorului și deschiderea lui, în cazul ruptorului.

Armătura este menținută în poziția normală (neatrasă) fie de greutatea proprie, fie de aceasta plus tensiunea unui arc (nereprezentat în fig. 110 și 111).

Atracția armăturii mobile trebuie să aibă loc și la 90 % din valoarea tensiunii de serviciu, cu bobinajul cald, iar desprinderea armăturii, la dispariția tensiunii electromagnetului, nu trebuie să aibă loc, dacă tensiunea se menține la peste 70 % din tensiunea de serviciu. De asemenea, contactoarele și ruptoarele trebuie să suporte tensiuni de 110 % fără depășirea limitelor de încălzire.

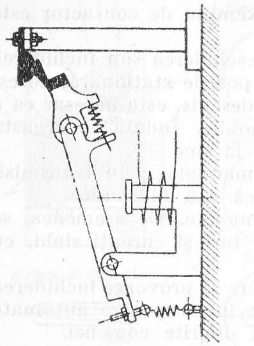


Fig. 111. Ruptor.

Forța de atracție (portantă) a electromagnetului se determină pe baza acțiunilor mecanice în sistemele cu circuit magnetic deformabil, prin relația:

$$F = K\Phi^2 \frac{dR_m}{dx}, \tag{92.1}$$

în care K este o constantă;

Φ — fluxul magnetic care se închide prin polul de atracție;

R_m — reluctanța circuitului magnetic corespunzător;

x — valoarea momentană a întrefierului dintre polul de atracție și armătura mobilă.

Forța de atracție are următoarele funcțiuni:

— cînd circuitul magnetic este deschis, să pună în mișcare și să accelereze piesele mobile;

— cînd același circuit este închis, să mențină presiunea pe contactele aparatului.

În curent continuu, fluxul este dat de relația

$$\Phi = \frac{1{,}25\, w \cdot I}{R_m}, \tag{92.2}$$

în care I este curentul absorbit de electromagnet;

w — numărul de spire ale acestuia.

Rezultă pentru forța de atracție relația:

$$F = \frac{K_1}{R_m^2} \cdot \frac{dR_m}{dx}. \tag{92.3}$$

Cînd întrefierul x scade, rezultă o creștere rapidă a forței de atracție. Dacă se notează cu F_0 forța inițială (de pornire) și cu F_n forța necesară menținerii presiunii pe contacte, rezultă din fig. 112, *a* variația forței F, de la F_0 la F_n, cînd întrefierul x variază de la e la zero.

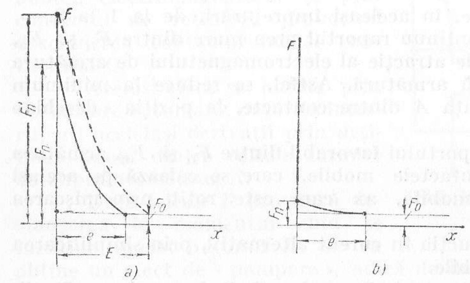


Fig. 112. — Variația forței de atracție cu întrefierul, la un contactor:
a — în curent continuu; *b* — în curent alternativ.

Se vede totodată că, dacă întrefierul se mărește la valoarea E, forța F_n crește în mod corespunzător. Este, deci, necesar ca în curent continuu să se reducă întrefierul e, păstrîndu-se totodată o distanță cît mai mare A (fig. 110) între contactul fix și cel mobil, la poziția « deschis ». Pentru aceasta la contactoarele de curent continuu, polul de atracție se apropie cît mai mult posibil de axul de rotație O al armăturii, prelungindu-se aceasta din urmă.

Totuși, F_n rămîne un multiplu important al forței F_0.

În curent alternativ, expresia fluxului Φ rezultă din relația:

$$w\Phi = L\,I, \tag{92.4}$$

în care w este numărul spirelor inductoare;

L — inductanța circuitului de excitație;

I — curentul de excitație (valoare eficace).

Pe de altă parte, curentul rezultă din relația aproximativă:

$$I = \frac{U}{L\omega}, \tag{92.5}$$

în care U este tensiunea aplicată electromagnetului;

ω — pulsația curentului respectiv.

Rezultă:

$$L = \frac{w\,\Phi}{I} = \frac{1{,}25\, w^2}{R_m}, \tag{92.6}$$

sau:

$$\Phi = \frac{L}{w}\, I = \frac{LU}{L\omega\, w} = \frac{U}{\omega\, w} = \text{const.} \tag{92.7}$$

Această relație s-a dedus, neglijînd rezistența ohmică R a circuitului de excitație, în raport cu reactanța lui $L\omega$.

Rezultă astfel, pentru forța de atracție, relația

$$F = K' \cdot \frac{dR_m}{dx}. \qquad (92.8)$$

Întrucît forța variază astfel, în curent alternativ, numai cu $\frac{dR_m}{dx}$ *), creșterea forței de atracție de la F_0 la F_n va fi mult mai redusă decît în cazul curentului continuu (fig. 112, *b*). Se pot chiar da următoarele exemple, dacă se ia ca unitate forța F_0:

În curent continuu, forța variază de la 1 la 20, cînd întrefierul scade de la e la zero;

În curent alternativ, forța crește, în aceleași împrejurări, de la 1 la 2.

Pentru a se reduce în curent continuu raportul prea mare dintre F_n și F_0, se apropie cît mai mult posibil polul de atracție al electromagnetului de armătura mobilă, lungindu-se în schimb această armătură. Astfel, se reduce la minimum întrefierul total e și se mărește distanța A dintre contacte, la poziția « deschis » (v. fig. 110).

În curent alternativ, datorită raportului favorabil dintre F_n și F_0, armătura se poate trata complet separat de contactele mobile, care se calează pe același ax pe care este calată armătura mobilă, ax care este rotit prin mișcarea armăturii.

Prin aceasta se ieftinește construcția în curent alternativ, prin simplificarea electromagnetului și a contactelor mobile.

În schimb, în curent continuu nu există șoc la sfîrșitul cursei armăturii, deoarece, circuitul magnetic realizîndu-se din piese masive, efectul autoinducției produs în acestea de variația fluxului, frînează mișcarea.

În curent alternativ, această frînare nu există, circuitul magnetic realizîndu-se din tole, pentru reducerea pierderilor în fier.

Deaceea, la contactoarele de curent alternativ se iau măsuri speciale de atenuare a șocului de închidere (piese elastice pe poli, amortizoare).

Deasemenea, în curent continuu se folosesc rezistențe în serie, care sînt intercalate în circuitul bobinei electromagnetului, cu ajutorul unui contact, acționat aproape de momentul cînd armătura mobilă atinge pe cea fixă, în scopul de a reduce curentul absorbit de bobină și, deci, de a putea folosi o bobină de dimensiuni mai mici. În curent alternativ, datorită reactanței mari a circuitului de excitație al electromagnetului, curentul absorbit este mai redus.

Avînd în vedere că, în timpul acționării, curentul în bobina electromagnetului este mult mai mare decît la funcționare normală, este necesar să se cunoască la proiectare numărul de acționări pe oră, pentru ca limitele de încălzire admisibile ale acestei bobine să nu fie depășite.

93. **Utilizări, dispozitive auxiliare, încercări.** α) *Montaj.* Contactoarele și ruptoarele au un domeniu vast de aplicare și sînt foarte mult folosite la aparatele de pornire, de manevră, de reglaj, sau la comenzi automate, în special în joasă tensiune în cazul unor aparate grele, cu un regim greu de funcționare. Sînt deasemenea folosite ca aparate intermediare pentru transmitere de comenzi la distanță (telecomenzi).

În cazul folosirii contactoarelor ca disjunctoare, pentru declanșări la tensiune minimă sau la curent maxim, contactorul este echipat cu contacte auxiliare, care sînt

*) Variația reluctanței cu întrefierul $R_m = f(x)$, corespunzînd unei curbe cu convexitatea în sus, $\frac{dR_m}{dx}$ va crește cînd întrefierul x scade.

deschise prin intermediul unor relee, întrerupînd curentul din bobina electromagnetului.

Astfel, pentru închiderea contactorului din schema reprezentată în fig. 113 se apasă pe butonul E; prin aceasta, electromagnetul este excitat și închide contactorul și totodată contactul auxiliar (de reținere) C, care scurtcircuitează circuitul butonului E, contactorul rămînînd închis și după ce încetează apăsarea pe butonul E.

Pentru deschiderea contactului, se apasă pe butonul D; astfel se întrerupe legătura trecînd, prin bobina electromagnetului și prin contactul de reținere, provocînd deschiderea contactorului și contactului C.

Același efect se obține prin declanșare automată, datorită întreruperii aceleiași derivații prin acțiunea unuia dintre releele termice de supraintensitate R.

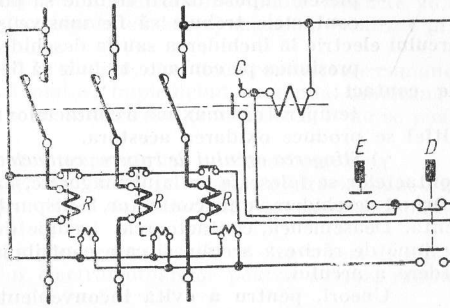


Fig. 113. — Schema unui contactor echipat cu relee de protecție.

Dacă releele R provoacă declanșarea în momentul cînd se menține apăsat butonul E, se va obține un efect de « pompare », adică de declanșări și anclanșări repetate. Pentru evitarea acestui fenomen, contactele releelor R sînt echipate cu dispozitive de zăvorîre, rămînînd deschise după funcționare. Pentru repunerea releelor în funcțiune, este necesar ca ele să fie rearmate.

Cînd comanda este dată de la distanță, necesitatea rearmării releelor poate constitui un inconvenient, care, însă, poate fi înlăturat, introducînd rearmarea electromagnetică la distanță. Comanda acesteia poate fi dată printr-un al treilea buton sau prin dublarea butonului D, ca în schema din fig. 113.

În acest caz, după o declanșare a contactorului, va trebui să se apese pe butonul D și apoi, pe butonul E, pentru a se putea executa reînchiderea contactorului.

Se precizează că în mod normal, butonul E stă deschis iar D, închis; ele sînt readuse după apăsare în aceste poziții de către arcurile respective.

Contactoarele fiind comandate la distanță, se evită riscurile accidentelor care s-ar putea produce prin închiderea sau prin deschiderea acestora la fața locului, pe un scurtcircuit existent în rețea.

β) *Condiții de funcționare.* Contactoarele trebuie să fie de o construcție foarte robustă și să aibă o funcționare absolut sigură. Nefuncționarea unui contactor poate să provoace accidente grave. De exemplu, un contactor defect, care ar comanda pornirea motorului unui laminor: prin nefuncționarea contactorului s-ar putea produce răcirea lingoului și, deci, pagube considerabile.

Operațiile de deservire și de întrebuințare a contactoarelor trebuie să fie foarte simple, cu atît mai mult cu cît, în majoritatea cazurilor, muncitorii care îi deservesc nu sînt electricieni, rolul lor reducîndu-se numai la apăsarea pe butonul de comandă.

Frecvența de funcționare a contactoarelor este, uneori, foarte mare, putînd atinge 2 400 conectări pe oră. Pentru a obține o funcționare sigură și o întreținere redusă, într-un astfel de regim, este necesar, în acest caz, să fie îndeplinite următoarele condiții:

— funcţionarea trebuie să fie posibilă fără ca părţile mobile să fie unse;
— pătrunderea prafului nu trebuie să influenţeze funcţionarea contactoarelor;
— piesele nu trebuie deşurubate în timpul funcţionării;
— uzura pieselor supuse frecării trebuie evitată, prin folosirea unor materiale foarte rezistente — lagăre de bronz special sau axe de bronz extradur — dimensionarea acestora fiind cît mai largă;
— piesele supuse uzurii trebuie să poată fi înlocuite uşor;
— contactele trebuie să fie masive şi cu dispozitive de evitare a formării arcului electric la închiderea sau la deschiderea lor pe suprafaţa de contact;
— presiunea pe contacte trebuie să fie de ordinul a 2—3 kgf pe cm de lăţime de contact;
— temperatura maximă a contactelor nu trebuie să depăşească 115°C, deoarece altfel se produce oxidarea acestora.

γ) *Stingerea arcului de rupere; contactoare cu redresor.* Pentru reducerea uzurii contactelor se foloseşte suflajul magnetic, care reduce durata de ardere a arcului, întrucît deschiderea unui contactor, la dispariţia forţei de atracţie, este deobicei relativ lentă. Deasemenea, contactoarele trebuie dotate cu camere de stingere, care au o acţiune de răcire a arcului şi care contribuie, deasemenea, la scurtarea duratei de ardere a arcului.

Uneori, pentru a evita inconvenientele inerente curentului alternativ, se folosesc contactoare care au bobina electromagnetică alimentată cu curent continuu, obţinut printr-un redresor. De exemplu, se poate obţine curentul continuu necesar folosind un mic redresor cu oxid de cupru, racordat după cum se arată în schema din fig. 114.

Este de remarcat că, la deschiderea contactorului astfel alimentat, se produce simultan:

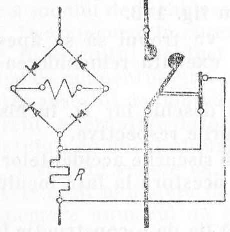


Fig. 114. — Schema alimentării electromagnetilor prin curent redresat.

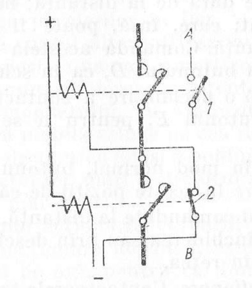


Fig. 115. — Contactor cu contacte auxiliare de zăvorîre:
1, 2 — contacte auxiliare.

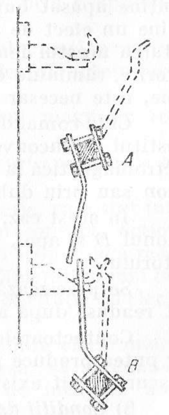


Fig. 116.—Contactoare cu blocaj mecanic reciproc.

— întreruperea circuitului de curent redresat; altfel, redresorul constituie un circuit de descărcare care întîrzie deschiderea contactorului;
— întreruperea circuitului principal de curent alternativ; aceasta, pentru a permite dimensionarea economică a redresorului, care nu trebuie să rămînă supus tensiunii alternative în gol, deoarece s-ar încălzi în mod exagerat.

Pentru limitarea curentului de excitaţie la închiderea contactorului, se montează o rezistenţă-serie *R*, scurtcircuitată în poziţia deschisă.

δ) *Dispozitive auxiliare ale contactoarelor.* Realizarea unei succesiuni riguroase a comenzilor necesită blocajul electric şi mecanic al contactoarelor. În acest scop, contactoarele sînt echipate cu contacte auxiliare, care comandă curenţii de mică intensitate din bobinele de comandă. De exemplu, contactul auxiliar *2* al contactorului *B* (fig. 115) nu permite anclanşarea contactorului *A*, atît timp cît *B* este închis.

Contactele pot fi echipate cu unu, două, trei sau mai multe contacte auxiliare. Deasemenea, contactoarele pot fi echipate cu blocaj mecanic, realizat prin sistemul de pîrghii arătat în fig. 116.

Acest sistem de blocaj este folosit, în general, cînd două contactoare comandă rotirea în sensuri diferite ale aceluiaşi motor, împiedicînd comanda simultană a ambelor contactoare, ceeace ar provoca un scurtcircuit (contactorul *B* nu se poate închide cînd *A* este închis).

Din punct de vedere al frecvenţei manevrărilor se deosebesc:
— aparate cu frecvenţă de manevrare mică (zilnică), cu cîteva manevrări pe zi, corespunzătoare instalaţiilor de iluminat, de încălzit sau contactoare funcţionînd ca întreruptoare automate de protecţie;
— aparate cu frecvenţă de manevrare medie (orară), cu cîteva zeci de manevrări pe zi, care corespund acţionărilor electromotoarelor pentru pompe, maşini-unelte etc.;
— aparate cu frecvenţă mare (minutară), cu 10—150 de manevrări pe oră, care corespund funcţionării electromotoarelor maşinilor de ridicat şi a unor maşini-unelte;
— aparate cu frecvenţa de funcţionare foarte mare, putînd atinge 2 400 de manevrări pe oră, care corespund funcţionării electromotoarelor auxiliare ale ascensoarelor, laminoarelor sau a circuitelor pentru sudură electrică.

ε) *Încercări.* Afară de încercările normale pentru intreruptoarele automate de capacitatea de rupere corespunzătoare, contactoarele sînt supuse unui număr de conectări fără curent şi anume:

— aparate de frecvenţă mică	1 000 conectări;
— aparate de frecvenţă medie	5 000 conectări;
— aparate de frecvenţă mare....................	50 000 conectări;
— aparate de frecvenţă foarte mare	1 000 000 conectări;

STAS 4479-54 cuprinde condiţiile speciale pentru contactoare şi ruptoare de curent alternativ pînă la 500 V şi 600 A.

L. Prize de curent (cu fişe) şi conectoare

94. Clasificare. Prizele de curent (cu fişe) şi conectoarele sînt aparate cu care se realizează legătura electrică dintre receptoarele mobile (amovibile) de energie electrică şi canalizările electrice fixe. Legătura poate fi făcută direct sau prin intermediul unor conductori flexibili.

În această categorie de aparate intră prizele propriu zise (cu fişe), prelungitoarele şi conectoarele.

α) *Prizele de curent* cu fişe constituie piesele de legătură dintre conductorii mobili şi flexibili şi canalizările electrice fixe; ele sînt formate din *priza propriu zisă*, care este legată de canalizarea fixă, şi dintr-o *fişă*, care este partea amovibilă, legată de conducta mobilă. Atît prizele cît şi fişele corespunzătoare trebuie să aibă acelaşi număr de poli; dacă sînt dotate cu un pol suplimentar, acesta poate servi la punerea la pămînt a instalaţiei.

Fig. 117 reprezintă aspectul exterior al unei prize bipolare pentru montaj aparent, fig. 118 pe acel al unei fișe bipolare, iar fig. 119, aspectul exterior al unei prize bipolare sub tencuială. În sfîrșit, în fig. 120 se arată o priză de forță capsulată

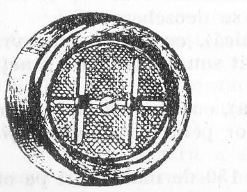


Fig. 117. — Priză pe tencuială.

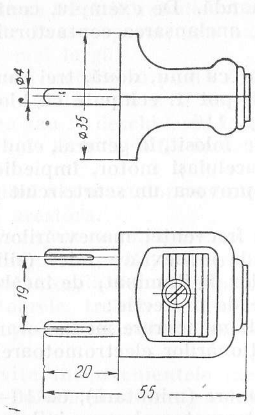


Fig. 118. — Fișă bipolară.

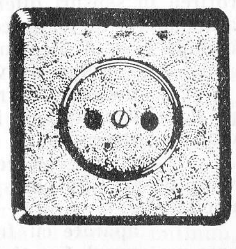


Fig. 119. — Priză sub tencuială.

tripolară, cu capac și pol suplimentar, iar în figura 121 o priză de forță cu întreruptor capsulat.

β) *Prelungitoarele*, în general, au rolul să unească între ele două conducte mobile, flexibile, care au un număr de conductori corespunzător numărului de poli ai prizei și ai fișei (fig. 122). Dintre cele două piese ale prelungitorului, una este identică cu fișa prizei de curent, iar cealaltă, numită « priza prelungitorului », este asemănătoare prizei — fixe — descrise mai sus.

γ) *Conectoarele* servesc la legarea aparatelor amovibile de cabluri flexibile. Acestea au, deci, numărul de poli corespunzător circuitelor de legat și,

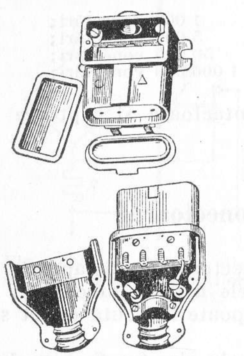


Fig. 120. — Priză cu capac, cu patru contacte, cu fișa corespunzătoare.

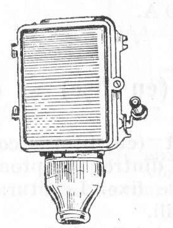


Fig. 121. Priză de forță cu întreruptor capsulat

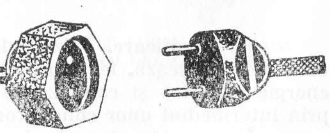


Fig. 122. — Prelungitor

eventual, un pol în plus, pentru protecție, prin punere la pămînt. Conectoarele sînt formate deasemenea, din două piese, una fixată pe aparatul amovibil și alta — asemănătoare prizei prelungitorului — fixată la capătul unei canalizări electrice mobile.

Clasificarea prizelor de curent (cu fișe), a conectoarelor și a prelungitoarelor se poate face:

— după așezare: aparente, îngropate și portative;

— după protecția contactelor: normale, impermeabile sub tencuială (tip flanș), capsulate în carcasă metalică, capsulate în caroasă de bachelită; prizele și fișele protejate de fontă, pînă la 500 V și 60 A, sînt standardizate prin STAS 4641-54.

— după numărul fazelor conectate: monofazate cu doi poli, monofazate cu doi poli și cu pol suplimentar de protecție, trifazate cu trei poli, trifazate cu trei poli și cu pol suplimentar de protecție;

— după intensitatea nominală: 10, 25 și 60 A. Fișele monofazate (bipolare) se construiesc și pentru 6 A, acestea putînd fi utilizate la prizele de 10 A;

— după tensiunea nominală: 250 (380) și 500 V (eventual și 750 V). Pentru lămpi portative, în întreprinderi, în ateliere etc. se realizează prize de 24 și 42 V. Fișele pentru aceste două tensiuni nu trebuie utilizate la tensiuni de peste 250 V. Prizele și fișele de curent pentru tensiuni dela 50 la 500 V și curent nominal pînă la 25 A sînt standardizate prin STAS 3184-55; deasemenea fișele de aparat și prizele pentru fișe de aparat pentru tensiuni pînă la 250 V și curenți pînă la 10 A sînt standardizate prin STAS 2801-55.

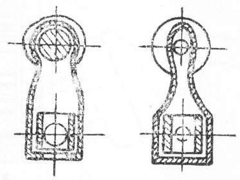


Fig. 123. — Contact de fișă.

95. **Principii de construcție.** α) *Contactele.* Legătura conductorilor la contacte (la tecile prizei) se face la fel ca la întreruptoare. Contactele fixe sînt formate din cîte două lame, a căror elasticitate creează forța de apăsare, de o parte și de alta, asupra cuiului (piciorului) fișei. Apăsarea necesară se poate obține și cu ajutorul unui arc de oțel care înconjoară cuiul fișei (fig. 123). Lamele de contact, spre a fi elastice, se execută din tombac sau din bronz fosforos.

Contactele prizelor de curent, ale prelungitoarelor și ale conectoarelor sînt, în general, *contacte glisante* și pot avea formele indicate în fig. 124.

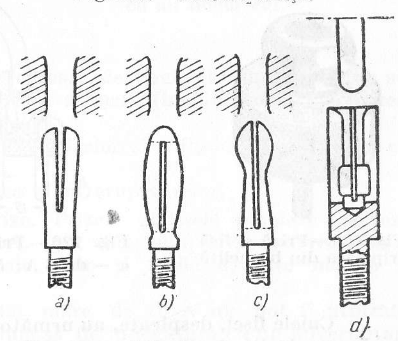


Fig. 124. — Diferite forme de contacte mobile (picioare sau cuie) de fișă și priză: *a* — contact normal cilindric; *b* — contact elipsoidal; *c* — contact cilindro-elipsoidal; *d* — contact glisant de priză.

Uneori, însă, ele sînt realizate în formă de *contacte de suprafață*, asigurarea contactului obținîndu-se prin apăsare. În primul caz, frecarea între contacte este suficientă pentru a asigura menținerea conectată a fișei la prizele mai mici. Dimpotrivă, la prizele mai mari este necesar un dispozitiv de zăvorire, care să împiedice detașarea fișei de priză.

La prizele multipolare, trebuie asigurată o suficientă mobilitate relativă a contactelor, în raport cu contactele fișei, astfel încît, cu toate abaterile inerente oricărei fabricații, să se asigure o pătrundere a fișei în priză, fără a se provoca deformații permanente. Aceasta se realizează prin faptul că se permite un mic joc al pieselor de contact în soclul izolant de care sînt fixate. Deasemenea, piesele de contact pot fi executate din material elastic, care suportă deformații trecătoare; în plus, ele au crestături longitudinale, ceeace le mărește și mai mult elasticitatea.

Folosirea contactelor de suprafață, funcționînd prin apăsare, nu necesită îndeplinirea condițiilor de elasticitate, în schimb, ele necesită dispozitive speciale pentru fixarea fișei de priză. În cazul curenților de mare intensitate, aceasta este soluția cea mai indicată.

β) *Detalii de construcție.* Soclul prizei servește ca suport al clemelor și al tecilor de contact. Acestea sînt acoperite cu un capac, care are numărul de găuri necesare prin care trec cuiele (picioarele) fișei (fig. 125, și 127).

La prizele tripolare de bachelită, găurile, respectiv cuiele, sînt așezate în vîrfurile unui triunghi oarecare neechilateral, astfel încît polaritatea să nu poată fi schimbată (fig. 125).

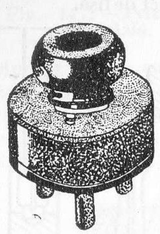


Fig. 125.—Priză și fișă tripolară din bachelită

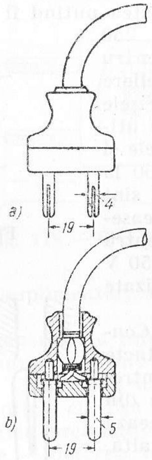


Fig. 126.— Priză cu fișă.: *a* — de 6 A; *b* — de 10 A.

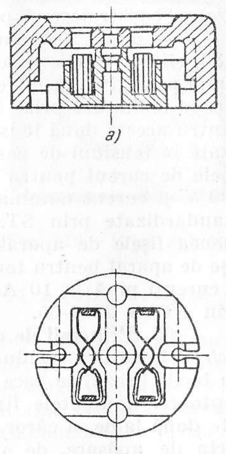


Fig. 127.— Priză bipolară de 25 A: *a* — secțiune ; *b* — vedere.

Cuiele fișei, despicate, au următoarele diametre: 4 mm la 6 A, 5 mm la 10 A, 6—7 mm la 25 A, 7—8 mm la 60 A.

Contactele prizelor de 10 A sînt realizate astfel, încît permit, datorită elasticității lor, introducerea și strîngerea atît a cuielor de 4 mm, cît și a celor de 5 mm, spațiul dintre lame variind între 3,5 și 5,5 mm (v. fig. 126). Distanțele minime admise dintre axele pieselor de contact, de polarități diferite, sînt aceleași ca la întreruptoare. Distanța dintre axele cuielor fișei bipolare este de 19 mm la 6 și 10 A (v. fig. 126) și de 28 mm la 25 A.

Nu se mai construiesc prize cu siguranțe interioare acestea fiind incomode și, în general, inutile, deoarece instalațiile au circuite speciale pentru prize. Deasemenea, duliile echipate cu prize nu mai sînt permise.

Pentru protecția contra atingerii, tecile prizelor sînt așezate la adîncime suficientă, sub capacul prizei (fixate în soclul izolant al aparatului; v. fig. 127, *a*), lăsîndu-se în capac numai orificiile necesare pătrunderii cuielor fișei. De asemenea, pentru nevoi curente se construiesc prize cu apărători, pentru a împiedica atingerea cu mîna a pieselor conducătoare de curent (fig. 128).

În scopul măririi stabilității fișei după introducerea ei în priză, se face o adîncitură în capacul prizei, în care îmbucă fișa. Anume, fișa bipolară trebuie să

aibă o suprafață circulară de atingere cu capacul prizei, corespunzătoare adînciturii din capacul prizei, care este astfel dimensionată, încît, la introducerea fișei în priză, cuiele fișei să nu poată fi atinse. Capacul prizei trebuie să fie astfel executat, încît introducerea unui singur cui al fișei să nu fie posibilă (fig. 129).

Fișa trebuie astfel construită, încît să poată fi scoasă din priză și prin tragerea de cordon, deși aceasta constituie un procedeu greșit.

Se recomandă ca dimensiunile și aspectul exterior al capacelor prizei să fie identice cu acelea ale capacelor întreruptoarelor construite pentru aceleași

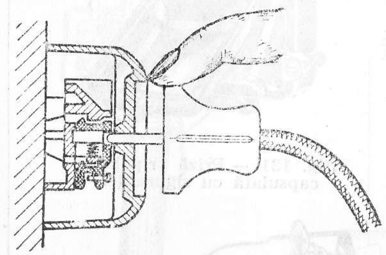


Fig. 128.— Priză cu protecție contra atingerii părții sub tensiune.

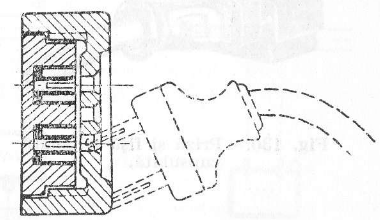


Fig. 129. — Fișa nu poate intra în priză cu un singur cui.

categorii de instalații. Prizele capsulate în carcase de bachelită sau de fontă au un capac suplimentar, acționat de un arc care acoperă (închide) orificiile prizei, cînd fișa este scoasă (v. fig. 120).

Materialele utilizate pentru construcția prizelor și a fișelor sînt aceleași ca pentru întreruptoare.

Montarea prizelor este identică cu cea a întreruptoarelor.

96. **Utilizarea diferitelor tipuri de prize.** Prizele și fișele bipolare servesc la conectarea receptoarelor mobile de curent, cum sînt: lămpile portative, aparatele electrocasnice, aparatele electromedicale, cum și unele aparate mobile și lămpile portative de atelier.

Prizele cu intensitatea nominală mai mare de 10 A nu pot fi utilizate pentru întrerupere directă. Deaceea, ele trebuie să fie în legătură cu un întreruptor. Prizele și fișele tripolare sînt utilizate pentru conectarea receptoarelor mobile, ca: motoare electrice trifazate, aparate și mașini-unelte. Ele au obținut o mare utilizare, atît în fabrici, în porturi și în triaje (la căile ferate), cît și în gospodăriile agricole electrificate.

Prizele aparente și îngropate, normale, se utilizează în instalațiile interioare din locuințe, în camerele obișnuite de locuit (v. fig. 117, 118 și 119).

Prizele impermeabile sub tencuială se utilizează în bucătării în băi, în spălătorii etc, unde atmosfera este umedă.

Prizele și fișele capsulate în carcase de bachelită (fig. 130) se utilizează în încăperi industriale, cu atmosfera umedă, excesiv de acidă sau mult încărcată cu praf. Prizele capsulate în carcasă de fontă se utilizează în special în instalațiile exterioare [porturi, gospcdării agricole electrificate, etc. (fig. 131, 132 și 133)]

În fig. 131. priza tripolară se montează în aceeași cutie capsulată cu trei siguranțe montate în serie cu contactele; fig. 132 reprezintă o priză capsulată în serie cu un întreruptor rotativ, iar fig. 133, o fișă capsulată tripolară cu contact suplimentar de protecție și cheie de blocare.

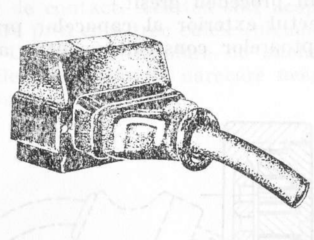


Fig. 130.— Priză şi fişă tripolară capsulată.

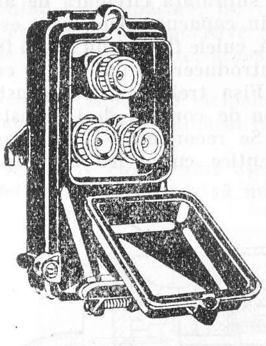


Fig. 131. — Priză tripolară capsulată cu siguranţe.

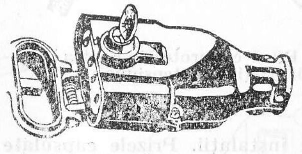


Fig. 133.— Fişă capsulată trifazată cu contact suplimentar pentru pămînt şi cu cheie de blocare.

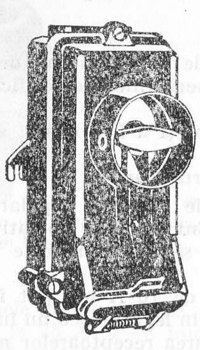


Fig. 132.— Priză capsulată, cu întreruptor.

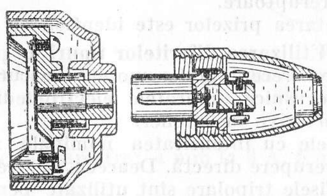


Fig. 134. Priză şi fişă cu contacte unipolare concentrice.

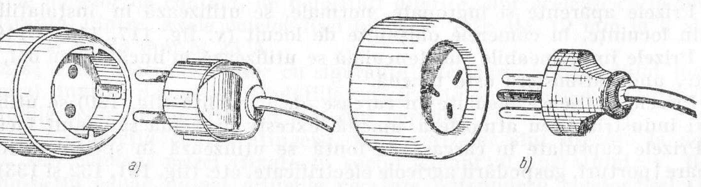


Fig. 135. — Priză şi fişă bipolară cu contact suplimentar de protecţie: *a* — lateral; *b* — cui de fişă.

În sfîrşit, fig. 134 reprezintă o priză specială, bipolară, cu un contact (cui) central şi al doilea concentric împrejur.

97. Contacte de protecţie şi accesorii. Actualele prescripţii privitoare la legarea la pămînt (sau la firul neutru) a carcaselor şi a armăturilor metalice, ale aparatelor din instalatii electrice în care există pericol de electrocutare, au dus la crearea tipurilor de prize, de fişe şi de conectoare, avînd fiecare un contact suplimentar de

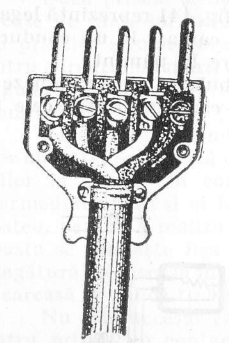


Fig. 136.—Fişă cu patru contacte normale şi unul suplimentar.

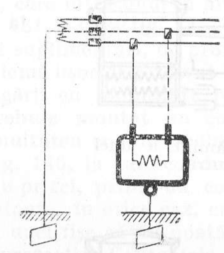


Fig. 137. — Legarea directă la pămînt a carcasei unui receptor.

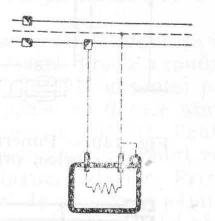


Fig. 138.— Legarea directă la neutru a carcasei unui receptor.

protecţie, prin care carcasa metalică a unui aparat receptor să fie conectată astfel încît între ea şi pămînt să nu poată apărea tensiuni periculoase pentru persoanele care le-ar atinge. Aceste prize sînt utilizate în secţiile intreprinderilor industriale în micile ateliere şi chiar în locuinţe, deoarece şi aici trebuie să se ţină seamă că pot interveni accidente datorite tensiunilor periculoase.

La priza din fig. 135, *a* contactul suplimentar se face pe marginea corpului fişei, iar la cea din fig. 135, *b*, printr-un cui suplimentar.

Fig. 136 reprezintă o fişă specială cu cinci cuie, dintre care patru fac contactele pentru un circuit trifazat cu fir neutru, iar al cincilea un contact suplimentar de protecţie, pentru legare la pămînt.

Protecţia se mai poate realiza legînd la pămînt carcasa metalică a aparatului, echipată cu o bornă de punere la pămînt, printr-un conductor, conectat sau neconectat la reţeaua electrică (coloana) de alimentare.

Există trei metode de protecţie: legarea la pămînt, legarea la firul neutru şi conectarea de protecţie, care se deosebesc principial între ele, prin intensitatea curentului de punere la pămînt.

Astfel, la legarea carcasei la pămînt (fig. 137) şi la legarea carcasei la neutru (fig. 138), acest curent poate să fie destul de mare ca să ducă la topirea siguranţelor circuitelor. Dimpotrivă, la conectarea de protecţie, o rezistenţă mare limitează curentul de punere la pămînt la valoarea necesară acţionării unui releu foarte sensibil.

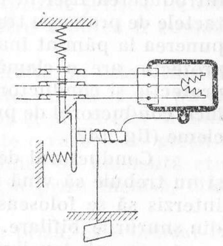


Fig. 139. — Legarea la pămînt, prin conectare de protecţie cu releu.

Acest releu acţionează asupra declanşorului unui întreruptor automat, care deschide circuitul (fig. 139).

Rezistenţa trebuie astfel dimensionată, încît tensiunea carcasei metalice faţă de pămînt să fie limitată la 24 sau 42 V, tensiunea de 42 V fiind cea mai mare

tensiune care nu prezintă pericol pentru oameni, iar cea de 24 V, cea mai mare tensiune care nu prezintă pericol pentru animale.

Legarea la firul neutru este foarte asemănătoare, în principiu, cu legarea la pămînt, dar nu se poate utiliza ca metodă de protecţie decît atunci cînd firul neutru (nulul) este el însuşi pus la pămînt.

Fig. 140 reprezintă legarea carcasei unui aparat de utilizare, printr-o priză, la conductorul neutru, acesta fiind el însuşi pus la pămînt; fig. 141 reprezintă legarea aceleiaşi carcase la un conductor de punere la pămînt.

Trebuie să se examineze de la caz la caz care dintre cele trei metode de protecţie este mai potrivită. Pentru toate cele trei metode pot fi utilizate aceleaşi prize şi aceleaşi fişe cu contact de protecţie.

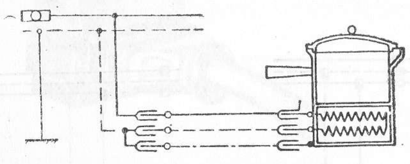


Fig. 140. — Punerea la pămînt a unei prize, prin fir neutru.

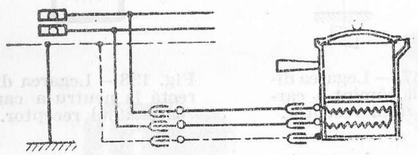


Fig. 141. — Punerea la pămînt a unei prize, prin conductor de pămînt.

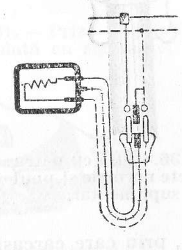


Fig. 142. — Legarea la neutru prin priză şi fişă cu contact de protecţie.

Contactele de protecţie la priză şi la fişă trebuie astfel construite, încît la introducerea fişei în priză, ele să vină cele dintîi în atingere. În acest scop, contactele de protecţie trebuie să fie mai lungi decît contactele de lucru, pentru a asigura punerea la pămînt înainte de punerea receptorului sub tensiune. Fişa cu contact de protecţie are o clemă suplimentară, care stabileşte legătura dintre contactul de protecţie şi conductorul de punere la pămînt. Această clemă trebuie astfel situată, încît conductorul de punere la pămînt să nu poată atinge în niciun caz celelalte două cleme (fig. 142).

Conductorul de punere la pămînt se leagă la carcasa metalică a receptorului şi nu trebuie să vină în contact electric cu ceilalţi conductori, în niciun punct. Este interzis să se folosească drept conductor de punere la pămînt conductorul neutru din şnururile bifilare. Acest lucru este foarte periculos, deoarece carcasa rămîne în acest caz sub tensiune, îndată ce conductorul neutru ar fi întrerupt, de exemplu: dacă s-ar slăbi contactul la clemă sau contactul cuiului în teaca prizei (fig. 143). Deaceea conductorul de punere la pămînt trebuie să fie suplimentar (fig. 144, conductorul mijlociu din fişa prizei).

Prizele cu contact de protecţie nu trebuie să permită intrarea în ele a fişelor fără contact de protecţie, pentru a împiedica utilizarea, în încăperile periculoase (camere cu atmosferă umedă: spălătorii, băi etc.), a receptoarelor mobile cu fişă normală, fără conductor de punere la pămînt. Prizele şi fişele din fig 135 *b* şi 136 respectă această prescripţie, prima îndeplinind însă în plus şi condiţia ca fişa să poată

fi utilizată la prize obişnuite. Prin aceasta, ea poate fi utilizată cu uşurinţă şi în încăperi obişnuite, la aparate echipate cu conductor de legare la pămînt; de exemplu, la un radiator racordat în baie sau în dormitor.

Atelierele, indiferent de mărimea lor, fiind considerate încăperi periculoase trebuie să aibă prize cu contacte de protecţie, în special pentru conectarea maşinilor manuale, de găurit şi polizat, a căror legare la pămînt este obligatorie.

Dacă prizele şi fişele pentru locuinţe, cu sau fără contact de protecţie au carcase de material izolant, pentru ateliere, exploatări agricole etc. s-au dovedit mai practice şi mai durabile prizele capsulate cu carcasa de fontă, în special cele pentru curenţi mai mari, cînd se utilizează un sistem în care priza şi fişa sînt dotate cu gulere metalice de protecţie, care intră unul în altul şi fac legătura de punere la pămînt prin pereţii lor (v. fig. 131, 132 şi fig. 145, 146).

Legarea unor conductori suplimentari, de protecţie, la carcasele metalice ale unor aparate, reprezintă o problemă uşor de rezolvat în cazul legării directe a conductorilor la cleme. În cazul legării cu mobilitate relativă (contacte glisante) prin intermediul prizei şi al fişei, trebuie montat un contact special cu fiecare dintre acestea, pentru a realiza continuitatea conductorului de punere la pămînt. Pentru aceasta se foloseşte fişa din fig. 146, la care conductorul de punere la pămînt vine în legătură cu carcasa metalică a prizei, printr-un contact elastic, exterior. Prizele cu carcasă metalică trebuie echipate, în orice caz, cu contact de punere la pămînt.

Nu este necesar ca polii unei fişe să nu poată fi schimbaţi între ei nici chiar pentru prizele cu contact de protecţie. Contactele suplimentare pentru protecţie fac ca această condiţie să fie inutilă.

Prizele utilizate în instalaţii de peste 250 V (tensiune faţă de pămînt) montate în serie cu un întreruptor trebuie să aibă un dispozitiv de blocare (zăvorîre) a fişei, astfel încît aceasta să nu poate fi scoasă din priză, sub tensiune, iar după scoaterea fişei, tecile prizei să nu rămînă sub tensiune. Astfel de prize sînt indicate şi pentru încăperile cu pericol de explozie. Ele sînt construite aproape totdeauna astfel, încît întreruptorul închide mecanic circuitul după introducerea fişei în tecile prizei.

Se utilizează mult şi *fişe multiple*, în special fişa triplă (triplu-ştecher), prin care se pot lega la o singură priză mai multe receptoare de curent (fig. 147).

Aparatele electrocasnice şi electromedicale monofazate (radiatoare, maşini de călcat etc.) sînt alimentate printr-o fişă (cuplă specială de 10 A), în care intră cuiele montate — de această dată — pe aparat (fig. 148).

În general, în instalaţiile curente pentru nevoi casnice, prizele şi fişele trebuie să fie toate cu contacte identice şi la aceleaşi distanţe, pentru a putea fi cuplate oricum.

Dimpotrivă, pentru instalaţii speciale, cu tensiuni diferite de cele utilizate pentru nevoile casnice sau pentru electromotoare trifazate, unde s-ar putea provoca o inversare a sensului de rotaţie, contactele prizelor şi ale fişelor trebuie să fie de dimensiuni diferite şi astfel dispuse, încît să se evite o racordare greşită. Prizele se execută şi capsulate, în carcase de fontă, de aluminiu, de bachelită etc. Totodată, acestea sînt echipate cu capace cu arc, care menţin priza închisă, cînd fişa este scoasă.

Pentru a evita ruperea cablului flexibil la ieşirea din priză, este indicat ca acesta să fie racordat spre partea inferioară a prizei. Astfel, se evită şi pătrunderea apei sau a impurităţilor în priză.

În cazul prelungitoarelor, cablurile de prelungire foarte lungi, cum sînt cele folosite în mine, sînt foarte greu de manipulat. Din această cauză, este necesar în asemenea cazuri un al treilea corp, numit corp al prelungitorului sau cuplă bipolară care racordează între ele două cabluri de prelungire dotate la capete cu fişe. Aceste legături mobile se pot face cu diferite tipuri de cuple bipolare (fig. 149), în care intră fişe normale sau speciale.

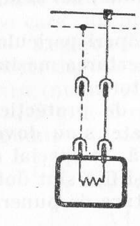


Fig. 143.— Carcasă de receptor, legată direct la firul neutru; dacă acesta se întrerupe carcasa rămîne sub tensiune.

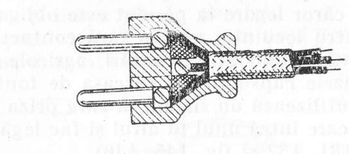


Fig. 144. — Fișă cu șnur trifilar (cu conductor neutru).

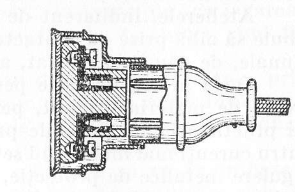


Fig. 145. — Fișă.

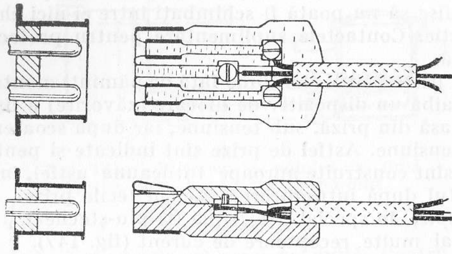


Fig. 146. — Priză și fișă capsulată cu contact de protecție.

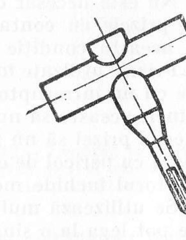


Fig. 147.— Fișă triplă (triplu ștecker).

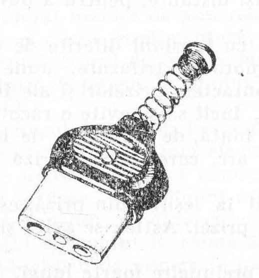


Fig. 148. — Fișa pentru aparate electrocasnice.

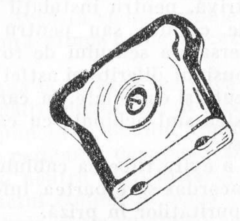


Fig. 149.— Cuplă bipolară.

98. **Încercări.** Prizele de curent cu fișele respective se încearcă la fel ca și celelalte aparate pentru instalații de iluminat, în ceeace privește rezistența mecanică, rezistența la umezeală, la șoc, la scuturături și la vibrație și în ceeace privește izolația.

Verificarea la încălzire se face cu fișa introdusă în priză, la curent de 1,25 I_n. În această încercare, căderea de tensiune nu trebuie să fie mai mare decît 50 mV între bornele de intrare și de ieșire, pentru fiecare pereche de contacte. Dacă rezultă o cădere de tensiune mai mare, se face proba cu bila de ceară cu un diametru de 3 mm, menționate la încercările întreruptoarelor de iluminat, bilă care nu trebuie să se topească în timpul încercării. Încercarea la încălzire se poate face cu curent continuu sau alternativ.

Încercarea capacității de rupere se face în curent continuu sau în curent alternativ neinductiv, la U_n sau la o tensiune de minimum 250 V, la 1,25 I_n.

M. Siguranțe cu fuzibile

99. **Generalități.** Siguranțele cu fuzibile protejează împotriva suprasarcinilor și a scurtcircuitelor, instalațiile în care:
— lipsesc întreruptoarele automate;
— întreruptoarele nu mai corespund puterii de rupere necesare;
— întreruptoarele realizează numai protecția contra suprasarcinilor, siguranțele avînd în acest caz rolul de a întrerupe la scurtcircuit.

Protecția se realizează prin faptul că o lamă sau un fir conductor, montat în serie în circuit, este astfel calibrat, încît să atingă temperatura de topire înainte ca în conductorul protejat să se depășească temperatura maximă admisibilă.

În funcționarea fuzibilului se deosebesc două regimuri distincte;

a) La curenți care nu pot produce topirea: în funcție de intensitatea curentului și de condițiile de răcire ale fuzibilului, se stabilește o temperatură de regim inferioară punctului de topire.

b) La curenți care produc topirea, după un interval de timp determinat de intensitatea curentului și de caracteristica de topire a fuzibilului.

La curenții foarte mari (scurtcircuite), topirea este aproape instantanee, întrucît caracteristica timpului în funcție de curent este o curbă hiperbolică, ca la releele termice (fig. 150, curba *1*).

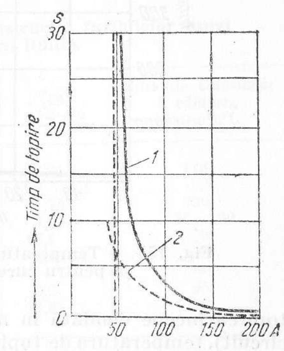


Fig. 150. — Caracteristica de topire a unui fuzibil: *1* — topirea limitată la o valoare de regim a curentului; *2* — topire nelimitată.

Cele două zone sînt separate prin «curentul limită», la care temperatura de regim este chiar temperatura de topire a fuzibilului. Matematic, curentul limită este definit de asimptota la caracteristica de topire (cel mai mic curent la care se poate obține topirea).

În fig. 151 sînt indicate temperaturile de regim pentru fuzibile din diferite materiale și pentru curenți exprimați în procente din curentul limită. Este bine ca, pentru curenți mai mici decît curentul limită, dar foarte apropiați de acesta, temperatura de regim care se stabilește să fie cît mai joasă.

Evoluția procesului de topire este influențată de tensiunea de lucru, de curentul de topire și de forma fuzibilului. Influența tensiunii de lucru se manifestă prin faptul că, la tensiuni mici, rezistența arcului format în momentul topirii reduce

mult din valoarea curentului, creşterea temperaturii fiind mai înceată, pe cînd la tensiuni mai mari, rezistenţa arcului este neglijabilă faţă de celelalte rezistenţe din circuit, topirea fuzibilului producîndu-se foarte repede. Însfîrşit, la tensiuni foarte mari se produce o vaporizare aproape instantanee a metalului.

Dacă topirea este produsă de un curent apropiat de curentul limită (suprasarcină), pierderea de căldură prin capete influenţează procesul topirii, acesta începînd la mijlocul fuzibilului, unde temperatura este maximă. La curenţi mai mari,

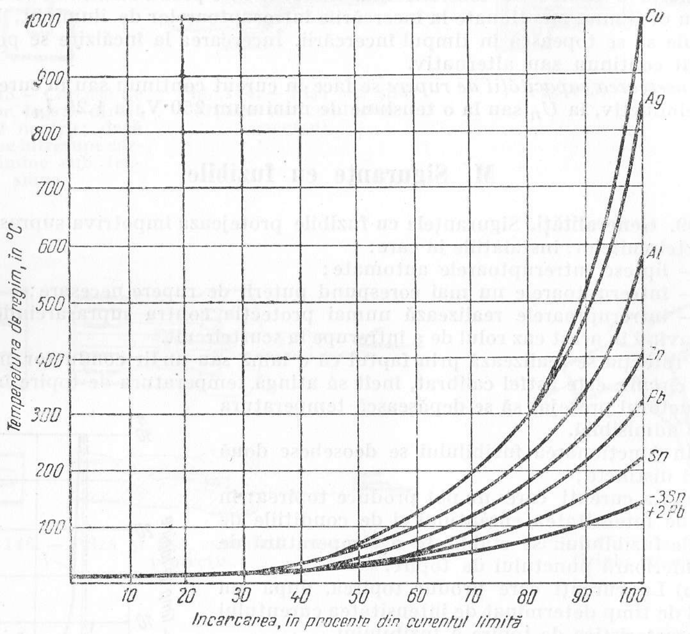


Fig. 151. – Temperatura de regim pentru fuzibile din diferite materiale şi pentru curenţi exprimaţi în procente din curentul limită.

topirea începe deodată în mai multe puncte, iar la curenţi foarte mari (de scurtcircuit), temperatura de topire este atinsă simultan pe toată întinderea firului fuzibil.

În punctul în care s-a produs iniţial topirea, rezistenţa creşte foarte mult, datorită reducerii secţiunii, dar şi faptului că, în punctul de topire, rezistivitatea materialelor suferă o discontinuitate (în punctul de topire rezistivitatea plumbului creşte cu 90 %, a zincului cu 100 %, iar a staniului cu 112 %). Picătura de metal topit este vaporizată rapid; în locul ei apare un arc electric.

Căldura degajată prin efectul arcului continuă topirea fuzibilului, pînă cînd lungimea arcului devine suficient de mare pentru ca el să se rupă şi să nu mai poată reapărea.

Ventilaţia şi răcirea prin capete sînt factori importanţi, atît în ceeace priveşte curentul limită, cît şi în ceeace priveşte stingerea arcului.

Curenţii de suprasarcină se întrerup mai greu decît curenţii de scurtcircuit. La curenţii de suprasarcină, stingerea arcului este îngreuiată de faptul că electrozii

şi nisipul care înconjoară firul fuzibil sînt calzi. Pentru acelaşi motiv, lungimea arcului electric trebuie să fie mai mare la fuzibile decît la întreruptoare.

Întreruperea unui circuit prin arderea fuzibilului produce supratensiuni, care, în general, nu sînt periculoase, fiind insuficiente faţă de distanţele impuse de norme pentru protecţia contra conturnărilor şi a străpungerilor prin aer. Aceste supratensiuni pot fi mult reduse dacă se dă fuzibilului o formă adecvată pentru ca întreruperea să nu se producă prea brusc.

100. **Fuzibile.** La alegerea metalului fuzibil trebuie respectate următoarele condiţii:

a) Punctul de topire să fie cît mai coborît.

b) Temperatura atinsă în timpul funcţionării normale, pentru curenţii apropiaţi de curentul limită (v. fig. 151), să fie deasemenea cît mai coborîtă, deoarece s-ar putea produce schimbări de structură sau reacţii chimice care să modifice calităţile fuzibilului (fuzibilele de argint şi de cupru permit o încărcare permanentă pînă la 85 % din curentul limită). Dacă temperaturile arătate au valori ridicate, se impune în construcţia siguranţelor utilizarea de materiale rezistente la temperatură; în acest caz, schimbarea fuzibilului devine mai dificilă, calitatea sorturilor utilizate poate fi influenţată şi, în sfîrşit, consumul propriu de energie al fuzibilului se măreşte.

c) Masa necesară de material trebuie să fie mică, masa metalului, avînd o influenţă defavorabilă, în special la tensiuni mai mari, unde topirea tinde să se producă exploziv. Dar o masă mică înseamnă inerţie termică mică, iar aceasta influenţează favorabil stingerea arcului. Inerţia termică (la topire) a metalului este un factor important în aprecierea fuzibilului. Ea poate fi influenţată într-o mare măsură prin:

— alegerea materialului (vezi tabela 24);

Tabela 24. Comparaţia între materialele utilizate la construcţia fuzibilelor lungi de secţiune rotundă, avînd acelaşi curent limită

Material	Inerţie *)	Masă *)	Punct de topire, °C	$\rho_{20°}$ $\mu\Omega \cdot cm$	Cifra de transmisie a căldurii, $kcal/m^2h°C$
Al	3,04	3,08	658	2,91	175
Pb	6,08	20,25	327	19,8–21,1	30
Cu	1,00	1,00	1 083	1,75	320
Alamă	0,47	1,61	900	7,07	50–100
Ni	0,362	1,72	1 460	13,1	50
Ag	1,16	1,47	960	1,58	36
3 Sn + 2 Pb	3,10	14,41	135	—	—
Zn	7,60	8,18	419	6,2	95
Sn	7,00	13,90	231	13,95	51

*) În raport cu cuprul.

— montarea în paralel a mai multor fire fuzibile (fig. 152), ale căror secţiuni însumate să corespundă secţiunii fuzibilului echivalent;

— utilizarea de fuzibile lamelare sau cu forme speciale.

Prin ultimele două procedee se obţine o reducere considerabilă a inerţiei termice şi a masei de metal utilizat (o răcire mai bună).

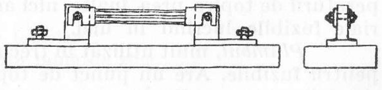


Fig. 152. – Siguranţă fuzibilă deschisă.

Este preferabil ca oxizii formaţi în timpul topirii să fie lichizi la temperatura care rezultă, oxizii solizi dînd variaţii

mari ale valorii curentului limită (oxizii de cupru sînt lichizi, iar cei de aluminiu și de zinc sînt solizi la temperatura de topire a metalului respectiv).

Pentru ca stingerea arcului să se facă ușor, temperatura de ionizare a vaporilor metalici trebuie să fie ridicată. În ordinea descrescîndă a temperaturilor de ionizare, metalele se clasifică astfel: W > Zn > Cd > Ag > Cu > Pb > Mg > Ni > Sn > Al.

Materialul pentru fuzibile trebuie să mai îndeplinească următoarele condiții:

— să fie suficient de dur pentru a nu necesita papuci speciali de contact. Se preferă materialul tras, deoarece este mai omogen și mai ușor de uzinat. Se vor evita aliajele, acestea neavînd calități identice;

— prețul fuzibilului și consumul propriu de energie în funcționarea normală să fie reduse.

De fapt, niciunul dintre materialele utilizate nu îndeplinește toate aceste condiții. În cele ce urmează, se arată caracteristicile materialelor întrebuințate în construcția fuzibilelor:

Argintul, deși are un punct de topire și un preț ridicat, este cel mai utilizat deoarece la topire degajă vapori puțini, iar masa topită nu se împrăștie. Se trefilează ușor și este aproape inoxidabil, chiar la temperatura de topire. Din motive de economie, papucii de contact se confecționează din cupru, iar la curenți mai mari, fuzibilul însuși este executat dintr-un aliaj de argint și de cupru.

Indicații pentru alegerea diametrelor necesare se găsesc în tabela 25.

Tabela 25. Fuzibile de sîrmă de argint fin

Curentul nominal al siguranței, A	Diametrul fuzibilului, mm	Secțiunea fuzibilului, mm²	Secțiunea conductei protejate, mm²	Greutatea unui metru liniar (circa), g
2	0,08	0,005	0,75..1	0,055
4	0,12	0,013	0,75..1	0,15
6	0,18	0,025	1	0,28
10	0,27	0,057	1,5	0,63
15	0,35	0,096	2,5	1,1
25	0,47	0,174	6	1,9
40	0,65	0,330	10	3,65
60	1	0,786	16	8,7
100	1,4	1,54	35	17,0
125	1,5	1,77	50	18,6
160	1,8	2,55	70	27,0
190	2,15	3,65	95	39,0
225	2,4	4,52	120	50,0

Cuprul are o comportare foarte asemănătoare cu a argintului, însă pentru temperaturi de regim mai mari decît 500°C (care corespund unui curent de circa 85 % din curentul limită) se oxidează, necesitînd o protecție prin nichelare sau argintare.

La același curent limită cuprul corespunde la 2/3 din inerția și din masa argintului, fiind mai indicat decît acesta pentru siguranțe ultrarapide. Din cauza temperaturii de topire prea înalte, nici argintul nici cuprul nu se pot folosi ca materiale fuzibile lucrînd în ulei.

Plumbul, mult utilizat în trecut, a fost aproape complet părăsit ca material pentru fuzibile. Are un punct de topire coborît, însă este moale, necesitînd papuci speciali, pe care se lipește greu; are masă mare și se oxidează în aer.

Nu este indicat la curenți mari, dar la curenți foarte mici conduce la dimensiuni mai ușor de realizat. Sub formă de aliaj, este utilizat pentru fuzibilele cu punct de topire coborît (tabela 26).

Tabela 26. Aliaje pentru fuzibile cu puncte de topire coborîte

Compoziția chimică, % (greutate)					Punct de topire, °C
Bi	Pb	Sn	Cd	Hg	
20	20	—	—	60	20
50	27	13	10	—	72
52	40	—	8	—	92
53	32	15	—	—	96
54	26	—	20	—	103
29	43	28	—	—	132
—	32	50	18	—	145
50	50	—	—	—	160
15	41	44	—	—	164
33	—	67	—	—	166
20	—	80	—	—	200
—	60	40	—	—	200

Zincul este, după argint și cupru, metalul cel mai utilizat în construcția fuzibilelor. Pe lîngă un punct de topire coborît și un preț redus, prezintă avantajele de a avea o tensiune de ionizare ridicată și o inerție termică foarte mare la o masă

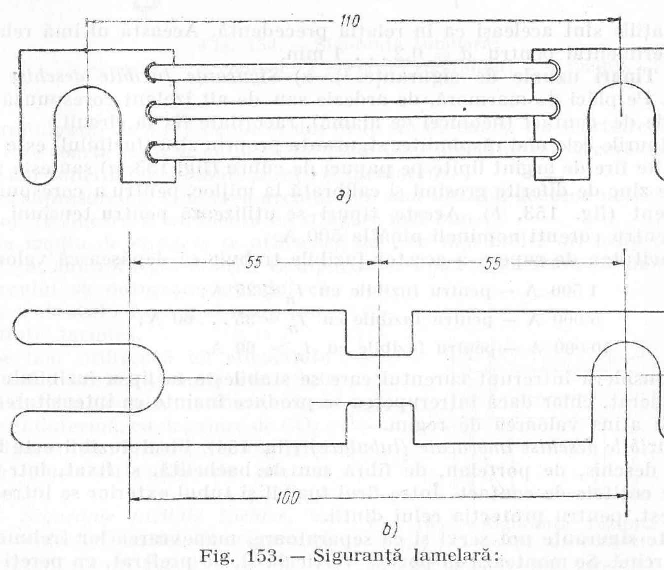


Fig. 153. — Siguranță lamelară:
a — cu fire de argint; *b* — din tablă de zinc.

relativ mică. La temperaturi mai ridicate cristalizează, devenind casant. Se utilizează mult la confecționarea siguranțele lamelare (fig. 153) pentru curenți cuprinși între 20 și 500 A.

Staniul este, în general, impropriu ca material fuzibil.

Este utilizat uneori împreună cu argintul, în construcţia siguranţelor inerte.

Aluminiul are masă mică, dar punctul de topire relativ înalt; formează oxizi solizi la temperatura de topire şi are temperatura de ionizare joasă. În prezent se experimentează utilizarea fuzibilelor de aluminiu sub formă de sîrmă de secţiune ovală sau în benzi.

Aliajele sînt, în general, evitate, deoarece nu prezintă calităţi identice. Se utilizează totuşi aliaje de cupru cu argint la unele fuzibile, pentru curenţi mari, şi aliaje cu plumb, pentru fuzibile cu punct de topire coborît (v. tabela 26).

Curentul limită de topire se poate determina, cu suficientă aproximaţie, cu ajutorul relaţiei:

$$I_f = a \cdot d^{3/2},$$

în care: I_f este curentul limită de topire (fuziune), în A;
d — diametrul fuzibilului, în mm;
a — o constantă a materialului avînd următoarele valori:

pentru Ag . . . 60 ; pentru Pb . . . 10,8; pentru Zn . . . 12,9;
pentru Cu . . . 80 ; pentru Pt . . . 40 ; pentru Sn . . . 12,8;
pentru Al . . . 59,2; pentru Fe . . . 24,6; pentru 2Pb + 1 Sn . . . 10,4;

Pentru sîrme subţiri de argint se poate folosi relaţia mai exactă:

$$I_f^2 = 1\,900\, d^3 + 700\, d^2,$$

în care notaţiile sînt aceleaşi ca în relaţia precedentă. Această ultimă relaţie este dedusă experimental pentru $d = 0{,}2 \ldots 1$ mm.

101. Tipuri uzuale de siguranţe. [1]. α) *Siguranţe fuzibile deschise* (v. fig. 152 şi 153). Pe plăci de marmoră, de ardezie sau de alt izolant corespunzător, sînt fixate piesele de contact (deobicei de alamă), racordate fix la circuit.

La tipurile cele mai răspîndite, siguranţa propriu zisă (fuzibilul) este formată din mai multe fire de argint lipite pe papuci de cupru (fig. 153, *a*) sau este ştanţată din tablă de zinc de diferite grosimi şi calibrată la mijloc, pentru a corespunde unui anumit curent (fig. 153, *b*). Aceste tipuri se utilizează pentru tensiuni pînă la 500 V şi pentru curenţi nominali pînă la 500 A.

Capacitatea de rupere a acestor fuzibile trebuie să depăşească valorile:

1 500 A — pentru fuzibile cu $I_n \leqslant 25$ A;
5 000 A — pentru fuzibile cu $I_n = 35 \ldots 60$ A;
10 000 A — pentru fuzibile cu $I_n > 60$ A.

Se consideră întrerupt curentul care se stabileşte în lipsa fuzibilului în circuitul considerat, chiar dacă întreruperea se produce înainte ca intensitatea curentului să-şi fi atins valoarea de regim.

β) *Fuzibile deschise îmbrăcate (tubulare)* (fig. 154). Firul fuzibil este introdus într-un tub deschis, de porţelan, de fibră sau de bachelită, şi fixat, într-un mod oarecare, de cuţitele de contact. Între firul fuzibil şi tubul exterior se introduce un tub de asbest, pentru protecţia celui dintîi.

Aceste siguranţe pot servi şi ca separatoare, manevrarea lor trebuind să se facă fără sarcină. Se montează în poziţie verticală şi, de preferat, cu pereţi despărţitori între poli (faze). Utilizarea acestui tip de siguranţe în cutii capsulate nu este indicată.

[1]) Clasificarea şi terminologia tuturor tipurilor de siguranţe fuzibile este dată în STAS 4262-54.

γ) *Siguranţe fuzibile închise.* Acestea sînt preferate celor deschise, deoarece:
— au capacitate de rupere mai mare (15—40 kA);
— necesită un spaţiu mai redus;
— durata arcului este mai mică, ceeace uşurează eşalonarea timpilor în vederea unei protecţii selective;
— în timpul funcţionării normale, firul fuzibil nu se oxidează;
— caracteristica de topire este mai uşor de realizat, după dorinţă;
— se înlătură pericolul de scurtcircuit între faze, arcul care se produce fiind închis.

Principiul siguranţelor fuzibile închise se bazează pe stingerea mai eficace a arcului prin efectul de presiune şi de răcire a vaporilor metalici într-o masă grăun-

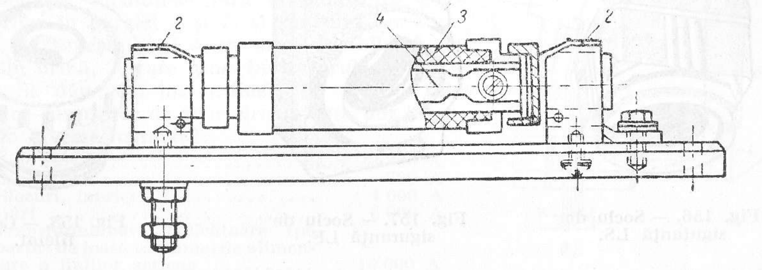


Fig. 154. — Siguranţă tubulară:
1 — soclu; *2* — contact; *3* — corpul siguranţei; *4* — fuzibil.

ţoasă (granuloasă) formată deobicei din nisip fin de cuarţ. La scurtcircuit, stingerea arcului, este foarte rapidă, datorită formării unei presiuni mari, care contribue la stingere dar solicită foarte mult pereţii şi închiderile.

La suprasarcină, stingerea arcului este mai dificilă, deaceea necesită închideri sigure contra flacării şi un mediu de stingere mai bun.

Ca mediu de stingere se utilizează de cele mai multe ori nisip curat (99 %) de cuarţ de anumită granulaţie. Comportarea bună a acestuia ca mediu de stingere a arcului se datoreşte faptului că SiO_2 este izolantul cu cea mai mare conductibilitate termică.

Se mai utilizează cu eficacitate redusă, talc, sticlă, şamotă etc. Sub acţiunea arcului electric, marmora suferă o reacţie endotermă, cu degajare de CO_2.

Siguranţele fuzibile închise sînt de două feluri: cu cuţite de contact şi cu filet.

— *Siguranţe fuzibile închise, cu cuţite de contact.* O astfel de siguranţă este reprezentată în fig. 155.

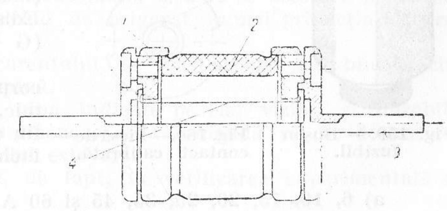


Fig. 155. — Siguranţă fuzibilă închisă, cu cuţit de contact:
1 — brăţară; *2* — tub ceramic; *3* — cuţit de contact; *4* — fir fuzibil.

Într-un tub de steatită, închis la capete prin piese metalice de care sînt fixate cuţitele de contact, sînt introduse, într-o masă de nisip de cuarţ, lamelele fuzibile. Printr-un canal special în interiorul tubului de steatită, este condus firul indicatorului.

— *Siguranțe fuzibile unipolare, cu filet (bușoane fuzibile).* O astfel de siguranță, compusă din următoarele piese principale: soclul, capacul filetat, patronul fuzibil și piesa de contact, trebuie să asigure întreruperea curenților de suprasarcină și de scurtcircuit.

S o c l u l, executat din material ceramic, poate fi de două tipuri: tip LS, pentru legături în spate (fig. 156), și tip LF, pentru legături în față (fig. 157).

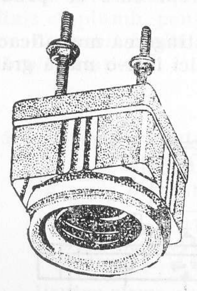


Fig. 156. — Soclu de sigutanță LS.

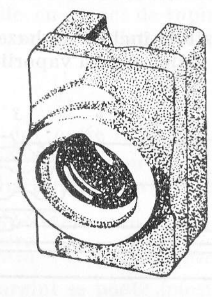


Fig. 157. — Soclu de siguranță LF.

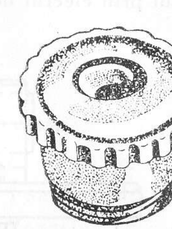


Fig. 158. — Capac filetat.

Ambele tipuri se execută în patru mărimi pentru curenții nominali de 25, 60, 100 și 200 A și pentru tensiunea nominală de 500 V. Se mai execută și tipul LF1 în construcție deschisă, pentru legături în față, pentru 25, 60 și 100 A.

C a p a c u l f i l e t a t (fig. 158), confecționat din același material ceramic, poartă o bucșă filetată în care este ținută siguranța propriu zisă, adică bușonul fuzibil. Se construiesc două tipuri de capace, fiecare de două mărimi, corespunzînd celor patru mărimi de socluri. Tipurile de 25 și 60 A au filete E 27 (vechea denumire, Edison), iar cele de 100 și 200 A, filete Gaz (G ¼″ și G 2″).

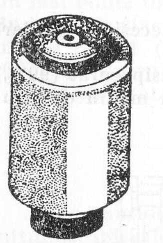


Fig. 159. — Bușon fuzibil.

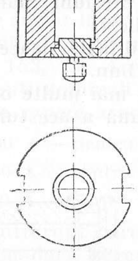


Fig. 160.— Piesă de contact calibrată.

B u ș o n u l f u z i b i l este un corp cilindric, executat din material ceramic, cuprinzînd fuzibilul de argint, în nisip fin de cuarț, și avînd la capete piesele de închidere și de contact (fig. 159).

Se construiește pentru curenți:

a) 6, 10, 15, 20, 25, 35, 45 și 60 A;
b) 80, 100, 125, 160 și 200 A.

Pentru a se împiedica utilizarea de bușoane cu curent nominal mai mare decît cel necesar protecției circuitului, se utilizează *piese de contact calibrate* (fig. 160). Acestea se construiesc pentru aceiași curenți ca și bușoanele de siguranță și sînt executate din cupru sau din alamă și protejate cu un strat de metal anticoroziv.

Siguranțele unipolare cu filet pînă la 500 V și 100 A sînt standardizate prin STAS-urile 452-53, 453-53 și 455-53.

δ) *Siguranțe fuzibile cu declanșare întîrziată.* Sînt utilizate, în special, pentru protecția lămpilor de mare putere și a motoarelor cu rotorul în colivie, care necesită, la pornire, un curent de cîteva ori mai mare decît curentul normal de sarcină.

Sînt formate, în principiu, din două fire de argint lipite la un capăt cu cositor. Lipitura se topește la suprasarcină îndelungată dar nu și la șocuri de curent.

În fig. 161 se arată realizarea practică a acestor fuzibile: două fîșii de tablă *1* și *2* sînt lipite în *3* cu un metal care se topește ușor; *4* și *5* sînt fire fuzibile, iar *6* și *7*, șunturi de mare rezistență.

La suprasarcină, lipitura din *3* se topește, desprinderea făcîndu-se fără arc, datorită conductorilor în paralel *5* și *7*, și șuntului *6*.

Se topește apoi *5*, ca orice fuzibil, și, în cele din urmă, *7*, care ține indicatorul.

Se dau mai jos ordinele de mărime ale valorilor curenților de scurtcircuit care pot interveni în diverse instalații:

— Case rurale	300 A
— Case urbane........................	700 A
— Blocuri, fabrici	4 000 A
— Gări	6 000 A
— Transformatoare ridicătoare (pe partea de joasă tensiune) de alimentare a liniilor aeriene	10 000 A
— Legături în cablu, rețele mari ..	18 000 A
— Industrie grea	30 000 A
— Industrie chimică	100 000 A

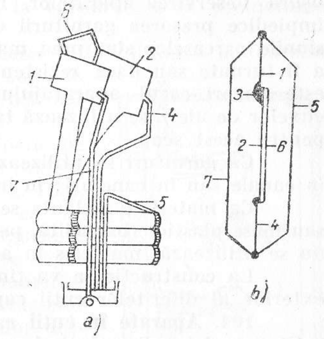


Fig. 161. — Siguranță fuzibilă cu declanșare întîrziată:
a — ansamblul siguranței; *b* — fuzibilul.

102. **Utilizări și încercări.** Siguranțele fuzibile se aplică între rețea și consumator, pe partea consumatorului, în conformitate cu prevederile arătate în capitolul « *Instalații electrice interioare* » (la consumator).

La tensiuni mai mari decît 250 V, atingerea siguranței fuzibile, sub tensiune, nu este permisă; de aceea montarea fuzibilelor se face după întreruptor spre consumator.

Siguranțele întrerup mai bine curenții mari (de scurtcircuit); de aceea, ele se combină uneori cu întreruptoarele automate, lăsîndu-se acestora protecția contra suprasarcinilor, iar fuzibilul avînd de asigurat numai protecția contra scurtcircuitelor.

Fuzibilele limitează valoarea curentului de scurtcircuit mai bine decît automatele folosite în instalațiile de lumină.

Siguranțele fuzibile trebuie să aibă indicate pe ele, vizibil și durabil, curentul și tensiunea nominală; de asemenea, se recomandă să fie dotate cu un indicator care să arate dacă fuzibilul este ars.

Încercările siguranțelor constau, de fapt, în verificarea experimentală a curbelor lor caracteristice de topire.

N. Aparataj capsulat

103. **Principii de construcție.** Condițiile impuse aparatelor capsulate sînt:
— protecția eficace împotriva atingerii părților metalice, aflate sub tensiune;
— etanșeitate la praf, la abur, la apă, la gaze, la săruri, etc.;

— protecție sigură împotriva răzbaterii în exterior a arcurilor electrice, care pot provoca incendii sau explozii (aprinderea mediilor ușor inflamabile, a gazelor explozive, etc.);

— protecție împotriva loviturilor mecanice.

Pentru carcase (cutii), fonta este materialul cel mai indicat, deoarece întrunește o serie de calități: mare rezistență mecanică, rezistență la coroziune, ușurință de prelucrare, mare conductibilitate termică, transmițînd repede în mediul exterior căldura degajată în interiorul carcasei; în sfîrșit, este un material ieftin.

Carcasele au capace care sînt în general prinse în balamale, pentru a ușura deservirea aparatelor. Balamaua trebuie astfel executată, încît să nu împiedice presarea garniturii de etanșare (joc larg, găuri ovale). Dacă dimensiunile carcaselor sînt prea mari, dacă formele exterioare nu sînt potrivite spre a fi turnate sau dacă rezistența mecanică a fontei nu este suficientă (ceea ce este uneori cazul aparatajului capsulat împotriva exploziilor, de exemplu al cuvelor de ulei), se utilizează tablă de oțel. Metalele ușoare sînt prea costisitoare pentru acest scop.

Ca garnituri se utilizează, în general, sfoara de cînepă, care se introduce în canale sau în caneluri; în industriile chimice sînt folosite garnituri de cauciuc.

Ca materiale izolante se utilizează materiale ceramice (porțelan, steatită), sau mase plastice (bachelită, pertinax, eternit impregnat, etc.). Marmura și ardezia nu se utilizează, mai ales în aer liber, fără o impregnare specială.

La construcție se va ține seamă, în plus, de uniformitatea aspectului exterior al diferitelor cutii capsulate, pentru a satisface și cerințele de estetică.

104. Aparate în cutii capsulate. α) *Întreruptoare cu pîrghie și siguranțe în cutii capsulate. Principii de construcție.* Cu toată puterea lor de rupere foarte redusă, întreruptoarele cu pîrghie cu o singură rupere pe fază sînt încă mult utilizate. Puterea de rupere se mărește prevăzîndu-se camere de stingere, depărtîndu-se părțile puse la pămînt de zona arcului și acoperindu-se părțile carcasei din această zonă cu asbest sau cu eternit.

În fig. 162 este reprezentat un întreruptor cu pîrghie capsulat, în serie cu o priză capsulată. Atît capacul cutiei întreruptorului, cît și capacul prizei nu se pot manevra decît în poziția « deschis » a întreruptorului.

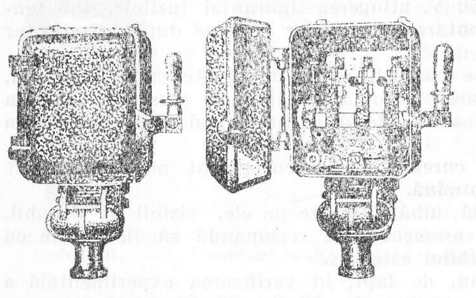


Fig. 162. — Întreruptor cu pîrghie, capsulat, în serie cu o priză capsulată.

Contactele de presiune, care nu-și pierd elasticitatea chiar la temperaturi ambiante înalte (de exemplu, în sălile de cazane), sînt necesare pentru aparatele funcționînd în regim permanent; deseori, elasticitatea contactelor executate din lame de cupru se întărește prin arcuri de oțel.

Picăturile de material topit care se produc în punctele de rupere a arcului nu trebuie să deterioreze piesele de contact.

Siguranțele produc multă căldură, chiar la sarcină normală. De aceea sînt introduse în carcase deasupra întreruptorului, pentru a nu încălzi în mod inutil contactele acestuia prin aerul cald care se ridică. Cu toate acestea, ele necesită deseori carcase mari, pentru a realiza o suprafață de răcire suficientă și pentru a evita creșteri de temperatură inadmisibile. În același scop se obișnuiește să se separe cutiile cu siguranțe de cutiile cu întreruptoare.

La siguranțe, conductorul de plecare fiind legat la piesa filetată a carcasei, schimbarea siguranței fuzibile trebuie să se facă atunci cînd piesa filetată nu este sub tensiune. Devine deci necesar să se prevadă un sistem de zăvorîre între întreruptor și capacul cutiei sale sau capacul de acces la siguranțe. Această zăvorîre împiedică schimbarea bușoanelor la siguranțe cînd întreruptorul este închis, cum și închiderea întreruptorului cînd capacul este deschis. Deasemenea, trebuie evitată posibilitatea ca bușoanele schimbate să cadă pe părțile aflate sub tensiune, ale întreruptorului.

La execuția pieselor și a legăturilor aranjate în cutie, trebuie luate în considerație inexactitățile inevitabile care se produc la turnarea și la prelucrarea fontei.

Dacă întreruptoarele capsulate servesc la punerea în funcțiune a motoarelor cu rotorul în scurtcircuit, întreruptoarele trebuie să suporte la închidere curentul de pornire, care este de 6—8 ori mai mare decît curentul nominal.

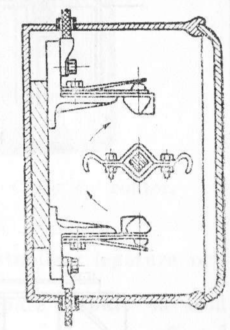


Fig. 163. — Întreruptor capsulat dublu, cu ax rotativ.

Întreruptoarele cu cuțite și cu simplă rupere pe fază nu sînt suficiente pentru aceasta; de aceea, se preferă utilizarea întreruptoarelor duble cu ax rotativ (fig. 163), cu care se pot realiza ușor și diferite conexiuni, ca de exemplu: pornire în stea-triunghi, pornire cu siguranțe scurtcircuitate etc. Se folosesc în acest scop contacte deget ca la controlere, montate de obicei pe piese de material ceramic, cu posibilitate de schimbare ușoară a contactelor uzate. O importanță deosebită trebuie dată pereților despărțitori, prin care se evită scurtcircuitarea fazelor prin flacăra produsă la rupere, chiar la ruperi puternice cu flăcări mari și cu formare de picături de material topit. Prin dispozitive speciale de sacadare se realizează ajustarea axului rotativ pe pozițiile prescrise, cum și zăvorîrea capacului cutiei sau a capacului care permite accesul la siguranțe.

Un tip de întreruptoare cu tobă îl reprezintă întreruptoarele-pachet (v. fig. 66), care pot fi utilizate cînd nu se cer puteri de rupere remarcabile.

β) *Întreruptoarele automate (disjunctoarele) în cutii capsulate* au asupra siguranțelor avantajul că timpul de repunere în funcțiune a instalației după un defect este mult scurtat.

Ele necesită camere de stingere foarte bune, pentru ca flacăra produsă la deconectare (întrerupere) să nu ajungă la pereții cutiei. Este indicat ca în regiunea unde flacăra ar putea atinge pereții, aceștia să fie căptușiți cu asbest. Pentru curenți mari, de 600—1 000 A, se ajunge la dimensiuni considerabile ale cutiei din cauza necesității de a lăsa un spațiu liber suficient de mare, în partea superioară a contactelor. Și aici sînt necesare sisteme de zăvorîre a capacului cutiei.

Intrările și ieșirile, pentru efectuarea legăturilor, trebuie să fie ușor accesibile, în special la întreruptoarele pentru curenți mari. Piesele conducătoare de curent trebuie dimensionate larg, astfel încît încălzirea lor să se mențină în limite foarte joase.

105. Tablouri capsulate de distribuție. Aceste tablouri de distribuție (fig. 164) prezintă, față de cele deschise, avantajul că pot fi folosite în încăperi umede, cu atmosferă acidă, sau în camere cu materiale inflamabile.

Elementele capsulate ale acestor tablouri pot fi: cutii cu întreruptoare (în general cu cuțite), putînd conține și siguranțe (fig. 165), cutii cu siguranțe (fig. 166), cutii cu întreruptoare automate în aer sau în ulei, cutii cu instrumente de măsură (fig. 167, 168), capete terminale prin care se aduc cablurile de legă-

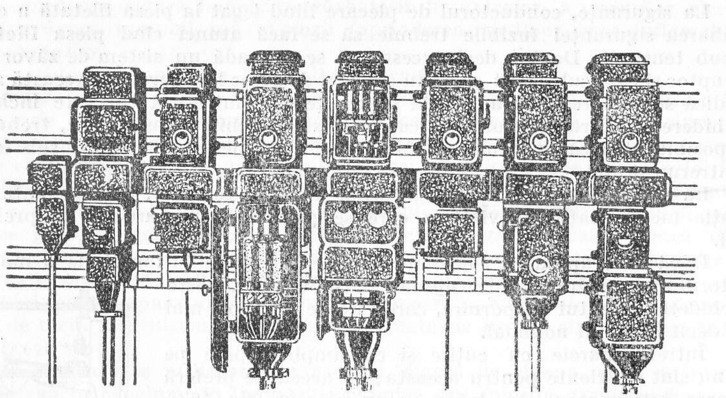


Fig. 164. — Tablou capsulat de distribuție.

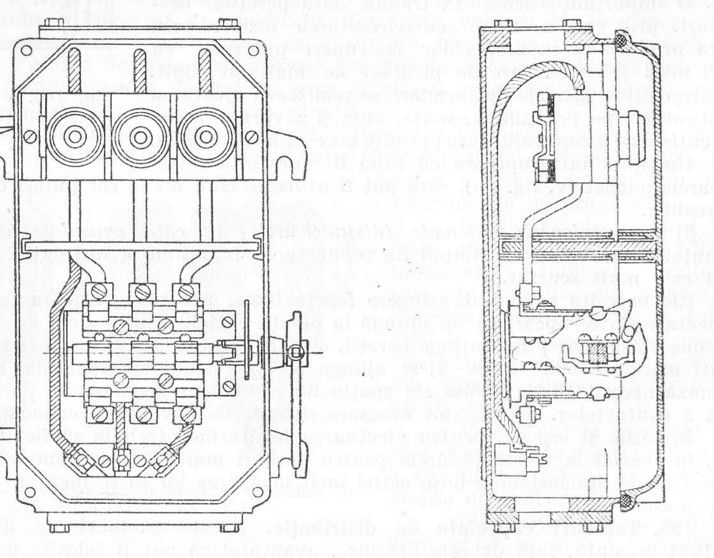


Fig. 165. — Cutie cu întreruptor și siguranțe.

tură la diferitele cutii, cutii intermediare sau de legare la spate, prin care se pot aduce cabluri prin partea de sus a cutiilor, fără a modifica poziția normală a cape-

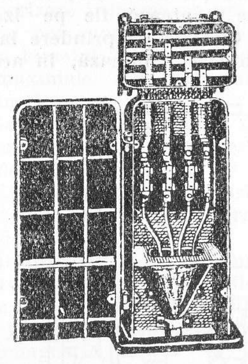


Fig. 166.— Cutie de siguranțe cu mînere.

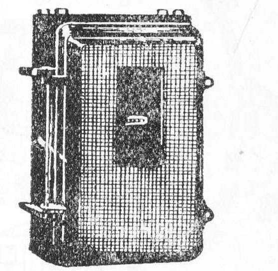


Fig. 167. — Cutie cu contor.

telor terminale și, în sfîrșit, cutii de bare (fig. 169), care stabilesc legătura orizontală între toate cutiile.

De sigur că, la toate cutiile menționate, cutiile de bare trebuie să aibă flanșe laterale egale, pentru a se putea lega între ele.

La sistemele universale adoptate de unele fabrici constructoare, în general numai pînă la 600 A, există o singură mărime de flanșă pentru toate cutiile.

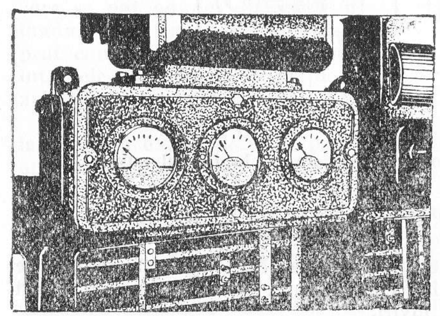


Fig. 168. — Cutie cu instrumente de măsură.

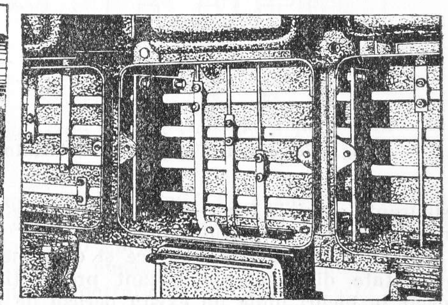


Fig. 169. — Cutie de bare, deschisă.

Așezarea laterală a mînerelor întreruptoarelor și a balamalelor capacelor de la cutiile cu siguranțe sau cu întreruptoare nu permite lipirea cutiilor una de alta; de aceea se folosesc cutii de bare a căror lungime este mai mare decît lățimea cutiilor cu siguranțe.

Pentru eliminarea spațiilor moarte, unele fabrici au adoptat sisteme de cutii cu mînerele întreruptoarelor în fața cutiilor, cu balamalele în părțile de jos sau de sus ale cutiei, sau pe colțuri, și cu urechile de prindere pe colțuri, în

cadrul aceluiași dreptunghi format de laturile cutiei, realizîndu-se astfel tablouri compacte.

Barele se execută cu secțiuni dreptunghiulare (în acest caz, se montează pe izolatoare) sau rotunde. În ultimul caz, ele se montează fie pe izolatoare cu armături speciale, fie pe plăci izolante laterale. Clemele de prindere la barele rotunde sînt mai complicate. În cutiile cu siguranțe se montează, în acest caz,

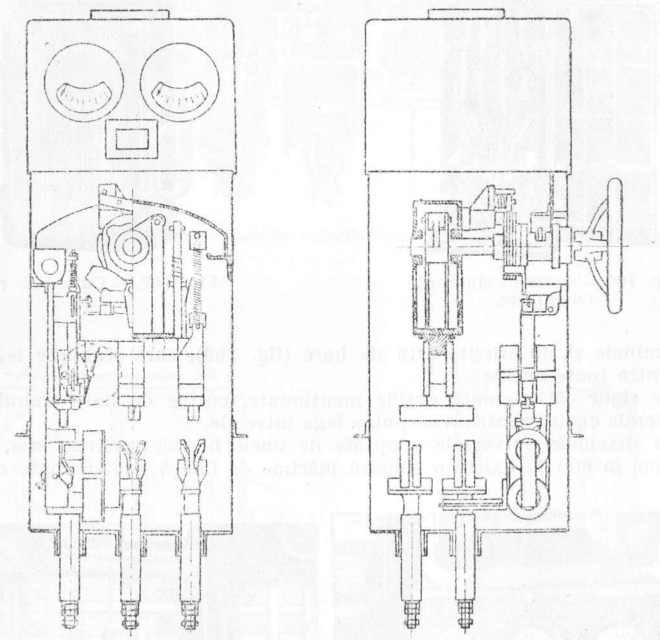


Fig. 170. — Cofret capsulat cu izolatoare de trecere pe la fundul cuvei.

siguranțe speciale (cu legături în față), de dimensiuni foarte reduse, pentru a economisi spațiul și costul tablourilor.

Foarte practice, estetice și de dimensiuni reduse sînt tablourile capsulate executate din material izolant presat (bachelită), care, însă, nu se pot folosi decît în locuri unde nu există pericol de loviri.

Tablourile capsulate trebuie să permită extinderea instalației fără dificultăți.

106. Cofrete capsulate, cu întreruptoare automate în ulei. Destul de răspîndite sînt cofretele capsulate cu izolatoare de trecere pe fund (fig. 170). Dezavantajele lor sînt: etanșarea dificilă la trecerile izolatoarelor, necesitatea de a scoate uleiul și de a demonta aparatul pentru a verifica și a curăți contactele. Avantajele lor sînt: spațiu redus, cost redus și putere de rupere relativ mare (datorită înălțimii mari de ulei deasupra contactelor, cum și datorită arcurilor puternice de declanșare).

Amortizarea mișcării contactelor mobile la sfîrșitul cursei este realizată prin arcuri sau printr-un strat de ulei. Distanțele mari dintre contacte, depărtarea păr-

ților puse la pămînt de zona de producere a arcului și așezarea verticală a izolațiilor, evitînd depunerea de nămol, sînt condiții care măresc siguranța de funcționare. La aceste cofrete se montează relee de supracurent (maximale), cu temporizare prin mecanism de ceasornic sau prin amortizare cu ulei. De asemenea se pot monta relee termice (cu bimetal), combinate cu relee maximale cu acționare instantanee.

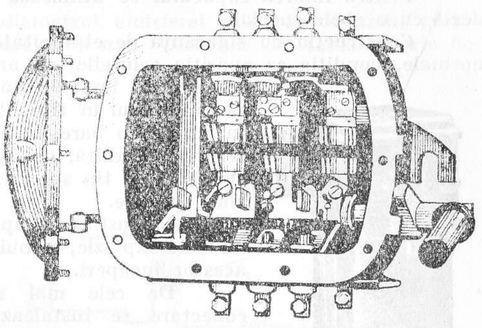


Fig. 171. — Întreruptor de 200 A capsulat împotriva exploziilor.

Se montează în cuve de tablă, mai ușoare și mai rezistente decît cele de fontă.

Etanșarea trecerilor prin fund se face cu chit de litargă și cu glicerină.

Încălzirile mari ale fundului cuvei la trecerea curenților de peste 500 A se evită prin utilizarea, în aceste cazuri, a unui fund nemagnetic.

În general, transformatoarele de intensitate și de tensiune, pentru instrumentele de măsură și pentru relee, cum și siguranțele de protecție pentru aceste transformatoare, se montează tot în interiorul cuvei.

107. Aparate capsulate contra exploziilor. Pericol de explozie există în încăperile în care se pot aduna, în cantități inadmisibile, gaze, vapori sau praf combustibil, care formează între ele sau împreună cu aerul amestecuri explozibile.

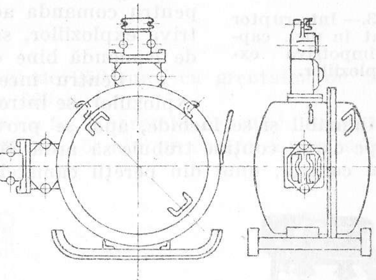


Fig. 172. — Contactor de 150 A pentru utilizare în mine.

Dintre construcțiile capsulate contra exploziilor fac parte aparatele cu capsulare rezistentă la presiune, cele cu capsulare în ulei sau cele capsulate în execuție normală, cu siguranță de etanșeitate mărită.

Capsularea rezistentă la presiune constă în introducerea părților periculoase în carcase închise, în care se poate produce o aprindere a amestecurilor explozibile, fără ca explozia să se transmită asupra amestecurilor explozibile din jurul carcasei, întreaga presiune a exploziei fiind suportată de carcasă. Aceasta trebuie să reziste la o presiune de 12 kg/cm^2. Flanșa carcasei este fără garnitură, însă are o lățime foarte mare (minimum 25 mm) (fig. 171).

Fig. 172 reprezintă aspectul exterior al unui întreruptor capsulat antigrizutos, montat pe sanie, care se utilizează în minele de cărbuni. În figură se disting cutiile de cablu de intrare și de ieșire ale conductelor din întreruptor. Forma cilindrică a carcasei determină solicitarea cea mai favorabilă a pereților, în cazul unei explozii interioare.

Capsularea în ulei constă în cufundarea părților periculoase (contacte) în ulei, astfel încît eventualele scîntei sau arcuri care se produc să nu poată veni în contact cu amestecurile explozibile (fig. 173).

Aparatul este echipat cu un indicator de poziţie a nivelului de ulei în cuvă. Cuva de ulei are, de asemenea, un dispozitiv care provoacă deconectarea automată a aparatului, în cazul unei coborîri accidentale a cuvei, care s-ar produce în timp ce aparatul este anclanşant.

Pentru fixarea capacului se utilizează şuruburi care nu pot fi acţionate decît cu o cheie specială.

Construcţia cu siguranţă de etanşeitate mărită necesită, pentru aparatele normale, condiţia ca apariţia scînteilor, a arcurilor şi a temperaturilor periculoase să fie împiedicată în cutiile unde aceste fenomene nu pot interveni în timpul funcţionării normale (de exemplu, în cutiile cu bare, în cutiile cu cleme etc.). Această construcţie necesită, de asemenea, pentru fixarea capacelor, şuruburi de tip special, care nu pot fi acţionate decît cu chei speciale.

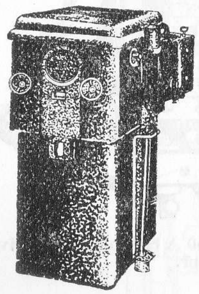


Fig. 173.— Intreruptor automat în ulei, capsulat împotriva exploziilor.

La instalarea aparatelor în camere expuse pericolului de explozie, trebuie să se verifice mai întîi ventilaţia acestor încăperi.

De cele mai multe ori, aparatele electrice de conectare se instalează în camere alăturate, ferite de camerele care prezintă pericol de explozie. În acest mod, pot fi utilizate aparate normale. În încăperile care prezintă pericol de explozie, se montează numai butoane pentru comanda acţionărilor la distanţă, capsulate împotriva exploziilor, sau în ulei (fig. 174,*a* reprezintă o cutie de comandă bine capsulată contra exploziilor).

Pentru încercarea aparatelor capsulate împotriva exploziilor, se introduce aparatul deschis într-o cameră cu gaz inflamabil şi se închide, apoi se provoacă scîntei în interiorul aparatului; gazul pe care-l conţine trebuie să ardă fără ca gazele din exterior să se aprindă (pentru control, unul din pereţii camerei se execută din hîrtie (fig. 175).

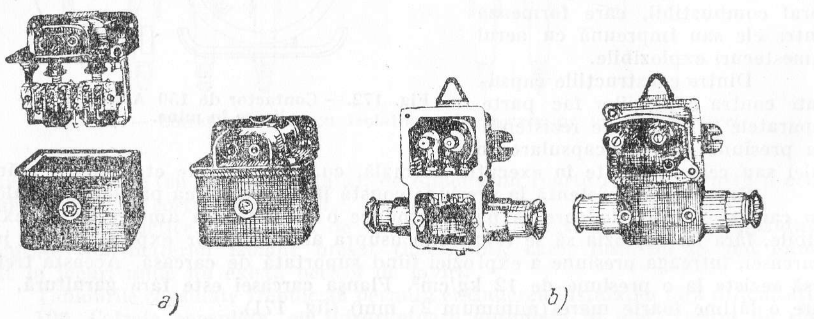


Fig. 174. — Butoane de acţionare la distanţă:
a — cu contacte în ulei; *b* — capsulate împotriva exploziilor.

108. **Încercări asupra aparatajului capsulat.** α) *Încercarea de rezistenţă mecanică a carcasei.* Carcasa executată din material rezistent trebuie să reziste la şocul unei piese semisferice de oţel avînd diametrul de 100 mm şi greutatea de 1,5 kg şi care loveşte lateral, prin căderea liberă dela 800 mm, pe rînd, în

trei puncte diferite ale carcasei (fig. 176). Nu numai carcasa nu trebuie să se spargă sau să se deformeze, dar şi elementele apărate de carcasă trebuie să reziste la reacţiile provocate de şoc: astfel, declanşoarele disjunctoarelor nu trebuie să producă declanşarea, contactele releelor sau ale contactoarelor nu trebuie să se deschidă etc.

Pentru carcasa de bachelită, diametrul emisferei este de 50 mm, greutatea de 250 g, iar distanţa de cădere, 300 mm. Carcasele de tablă şi cele de

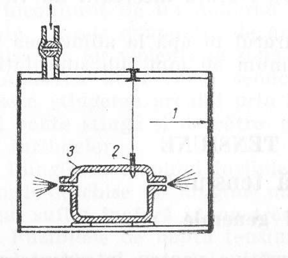


Fig. 175. — Încercarea la explozie:
1 — perete de hîrtie; *2* — dispozitiv electric de aprindere; *3* — aparat de încercat.

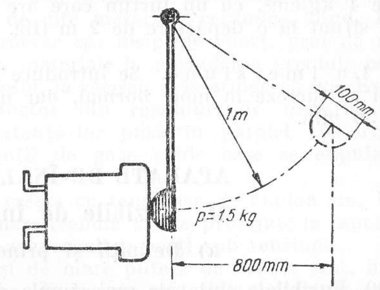


Fig. 176.— Încercarea la rezistenţa mecanică a aparatelor capsulate.

fontă se încearcă cu emisfere cu diametrul de 250 mm, cu greutatea de 500 g şi cu distanţe de cădere de 300, respectiv 600 mm.

β) *Încercarea de etanşeitate.* L a p r a f. Aparatele capsulate normale se încearcă suflînd de-a lungul îmbinărilor, timp de 5 min, un curent de aer cu 5 m/s,

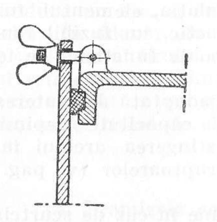


Fig. 177. — Mod de etanşare a cutiilor capsulate.

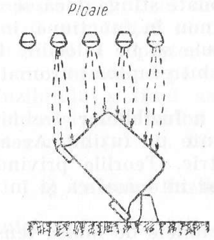


Fig. 178. — Încercarea aparatelor capsulate sub ploaie artificială.

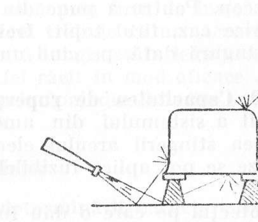


Fig. 179. — Încercarea aparatelor capsulate la jet de apă.

conţinînd praf de licopodiu în proporţie de 50 g/dm³. După încercare nu trebuie să se constate prezenţa licopodiului în aparat.

Aparatele funcţionînd normal în praf intens se încearcă într-un mediu cu o densitate de praf de 1,5 kg/m³ (întîi cu praf de ciment, apoi cu negru de fum) şi se aspiră în aparat o cantitate de aer egală cu de 100 de ori volumul lui. Impurităţile care au reuşit să intre în aparat nu trebuie să împiedice funcţionarea lui; aparatul trebuie să satisfacă toate probele de izolaţie, de cădere, de tensiune în contacte etc.

În fig. 177 se arată modul de montare a unei garnituri de etanşeitate, între doi pereţi ai unei cutii capsulate.

— L a p l o a i e. Aparatul este supus unei ploi artificiale de 3 mm/min., înclinat la 45°, timp de 5 min (fig. 178). În aparat nu trebuie să pătrundă apă, iar rezistenţa de izolaţie trebuie să fie menţinută.

— L a j e t d e a p ă (încercare absolut necesară pe nave, în instalaţii portuare etc.). Aparatul este supus pe toate părţile unui jet de apă avînd presiunea de 1 kg/cm², cu un furtun care are un orificiu interior de 6—10 mm şi care este situat la o depărtare de 2 m (fig. 179). Durata încercării nu va depăşi 5 min.

— L a i m e r s i u n e. Se introduce aparatul în apă la adîncimea la care va trebui să lucreze în mod normal, dar minimum 50 mm sub suprafaţa apei, timp de 30 min.

APARATE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

O. Fuzibile de înaltă tensiune

a) Definiţii şi principii generale

109. **Fuzibilele** sînt cele mai simple dispozitive pentru întreruperea automată a unui circuit, în caz de suprasarcini sau defectări (scurtcircuite). Din acest punct de vedere, fuzibilele sînt aparate de conectare.

Întreruperea automată a suprasarcinii reprezintă, în acelaşi timp, o funcţiune de protecţie a instalaţiilor. În consecinţă, pentru protecţia circuitelor de înaltă tensiune, mai puţin importante, contra supraintensităţilor, se recurge adesea la fuzibile, deoarece costul lor este mult inferior celui al întreruptoarelor de putere. Firul sau firele fuzibile din elementul de fuziune respectiv trebuie să reziste la curenţii de exploatare şi la suprasarcinile care pot să apară în exploatare. La curenţi care depăşesc această limită, firul sau firele fuzibile se topesc, şi în locul lor apare un arc, care se poate stinge dacă se iau măsuri corespunzătoare în acest scop. Pentru a pune din nou în funcţiune instalaţia, elementul fuzibil, sau, în orice caz, firul topit, trebuie să fie înlocuit. Practic, un fuzibil funcţionează o singură dată, pe cînd un întreruptor automat poate funcţiona de foarte multe ori.

110. **Capacitatea de rupere a fuzibilelor** trebuie adaptată la puterea de scurtcircuit a sistemului din amonte de fuzibil. Această capacitate depinde de posibilitatea stingerii arcului electric. Teoriile privind stingerea arcului în aer sau în gaze se pot aplica fuzibilelor întocmai ca şi întreruptoarelor (v. pag. 283 subcap. C.).

Protecţia pe care o dau fuzibilele de înaltă tensiune în caz de scurtcircuit este eficace, dacă arcul produs de topirea şi de volatilizarea firului fuzibil este stins cu siguranţă. Intensitatea curentului nu ajunge, de obicei, la valoarea care ar corespunde unui scurtcircuit în aval, deoarece, la depăşirea unei valori limită, fuzibilul este topit şi circuitul este întrerupt. Din acest punct de vedere, protecţia pe care o dă fuzibilul în reţea este eficace, deoarece determină o limitare a efectelor dinamice datorite curenţilor de vîrf.

b) Tipuri generale

111. **Fuzibile neprotejate.** În aer liber, stingerea arcului trebuie să fie determinată prin curenţii de aer produşi de căldura dezvoltată de fuzibil şi de arcul însuşi. Se mai poate folosi efectul de perete, pentru stingerea mai rapidă a arcului.

În fuzibile cu capacitate mică de rupere, firul fuzibil se poate introduce într-un tub de material izolant, pentru a intensifica răcirea arcului şi a limita extinderea lui. Distanţa redusă la pereţii reci ai tubului măreşte considerabil intensitatea medie a cîmpului electric din coloana arcului. La aceasta se adaugă efectul de suflare a arcului, datorit gazelor încălzite sau eliberate de arc din pereţi. În sfîrşit, mai poate să intervină şi un efect de suflaj magnetic, dacă firul fuzibil se introduce într-o buclă a circuitului.

112. **Fuzibile protejate.** De cele mai multe ori, elementul fuzibil este închis *în tuburi* de sticlă, de porţelan sau de alte materiale ceramice, fiind, în acelaşi timp, înconjurat de un material refractar ca: nisip de cuarţ, praf de marmoră, gips etc. Gazele evaporate de aceste materiale la aprinderea arcului, contribuie, prin mişcarea lor violentă în zona arcului, la răcirea şi la stingerea lui. Este posibil ca producerea unui canal semiconductor din reziduuri de material topit să favorizeze stingerea arcului prin rezistenţa lor pusă în paralel cu arcul. Arcul se mai poate stinge şi de către curenţii de gaze calde care se expulzează din corpul fuzibilelor.

Lungimea corpului fuzibilelor creşte cu tensiunea de exploatare. Fuzibilele şi tuburile deschise de lungime mai mare trebuie să fie protejate la capete, pentru ca arcul suflat înafară să nu treacă asupra altor părţi sub tensiune.

Fuzibilele de înaltă tensiune şi de mare putere de rupere sînt, în general, de tipul închis în materiale refractare. În loc de materiale refractare se mai pot întrebuinţa borul, aliaje ale aluminiului sau lichide (în special uleiuri).

Presiunile care apar în fuzibile pot să fie atît de mari, încît se impune să se prevadă deschideri de siguranţă în tuburi sau arcuri care să preia efortul.

S-au construit fuzibile pentru tensiuni mai înalte decît 100 kV şi pentru curenţi de peste cîteva mii de amperi.

113. **Efectul corona,** care apare la tensiuni înalte pe suprafaţa firelor subţiri, poate deteriora firul fuzibil dacă nu se iau măsuri de ecranare cu o înfăşurare exterioară, constînd dintr-un fir cu rezistenţă superioară şi cu punct de fuziune înalt (W), care rezistă descărcărilor prin licăriri (v. fig. 182). La apariţia unei supraintensităţi, se topeşte întîi firul de joasă rezistenţă interior, fără să se producă un arc, şi curentul este forţat să treacă prin firul de înaltă rezistenţă exterior. În adevăr cînd fuzibilul se topeşte, arcul trebuie să urmărească drumul lung şi sinuos al firului exterior, ajungînd pe toată lungimea în legătură cu materialul refractar din tubul fuzibilului şi fiind astfel răcit în mod eficace. De multe ori este indicat să se spiraleze şi firul fuzibil principal din interior, pentru a se reduce astfel riscul de efect corona (v. fig. 184).

c) Calculul fuzibilelor

114. **Premizele calculelor.** Posibilităţile determinării caracteristicelor principale ale siguranţelor fuzibile sînt limitate din cauza dificultăţilor de a stabili condiţiile de răcire şi variaţia cu temperatura a parametrilor.

Calculul prezintă marele avantaj că descoperă legile generale, cum sînt legile similitudinii sistemelor, care ajută în mod considerabil pe constructor, dîndu-i indicaţii preţioase asupra relaţiilor intime ale parametrilor de care depinde construcţia respectivă.

Se deosebesc trei faze ale funcţionării unei siguranţe:

— încălzirea staţionară sub curentul de regim;
— încălzirea rapidă la scurtcircuit pînă la topire sau evaporare;
— întreruperea arcului electric care se formează.

Dintre acestea, mai ales primele două se pretează unui calcul destul de exact (Avramescu, Lucchi, Builov).

115. Încălzirea de regim. La sarcinile normale, firul fuzibil ia o temperatură mai înaltă decît conductorii pe care-i protejează. Între altele, aceasta îi permite să se topească înainte ca părţile protejate ale instalaţiei să ajungă la temperaturi neadmisibile. Căldura produsă de efectul termic al curentului de regim se disipă întreagă, parte prin convecţie şi radiaţie pe suprafaţa laterală a firului, iar parte, prin conductivitate pe la capetele unde este încastrat.

Deoarece firul are un diametru mic faţă de lungimea lui, temperatura în secţiune se poate considera practic uniformă, iar temperatura clemelor constantă şi aproximativ egală cu temperatura aerului sau a mediului înconjurător.

Un fir de argint, cu diametrul d, cu secţiunea s şi cu lungimea $2l$ este încastrat între două cleme de cupru foarte masive, avînd o secţiune $s_1 \gg s$. Diferenţa de temperatură în secţiunea firului neglijîndu-se, variaţia de temperatură depinde numai de coordonata axială ζ.

Încălzirea staţionară a firului rezultă din aplicarea legii energiei la unitatea de volum a firului. Puterea termică a curentului şi diferenţa debitului de căldură primit şi transmis din şi la elemente adiacente, trebuie disipate prin suprafaţa laterală, în exterior. Expresia matematică respectivă este dată de ecuaţia (v. subcapitolul D. Criterii generale de proiectare şi de construcţie a aparatelor electrice, pag. 302):

$$\lambda \frac{d^2\vartheta}{d\zeta^2} - \alpha \frac{P}{s} \vartheta + i^2\rho = 0. \qquad (115.1)$$

Condiţiile la limită necesare determinării univoce a soluţiei se referă la simetria centrului, unde gradientul de temperatură dispare, şi la temperatura în punctele de încastrare $\zeta = \pm l$. Aceasta se poate presupune constantă şi egală cu temperatura mediului ambiant $\vartheta = 0$, ceea ce înseamnă răcire perfectă. Mai aproape de realitate se poate presupune (după J. Fischer) cedare limitată de căldură la cleme, după legea:

$$-\lambda \frac{d\vartheta}{d\zeta} = \eta\vartheta, \text{ la } \zeta = \pm l, \qquad (115.2)$$

unde η este un coeficient de cedare a căldurii.

Pentru a elimina dimensiunile din ecuaţia diferenţială de bază, se impune să se ia ca temperatură de referinţă, fie temperatura ambiantă, fie, mai bine, temperatura staţionară la care ar ajunge firul, în cazul cînd n-ar fi încastrat (după A. Avramescu). Această temperatură θ rezultă din ecuaţia (115.1), prin neglijarea primului termen, a mişcării axiale a căldurii:

$$\theta = \frac{i^2\rho s}{\alpha P} = \frac{i^2\rho d}{4\alpha} \qquad (115.3)$$

Mai este convenabil să se introducă o nouă coordonată axială numerică:

$$x = \frac{\zeta}{X} = \zeta \sqrt{\frac{\alpha P}{\lambda s}} = 2\zeta \sqrt{\frac{\alpha}{\lambda d}}. \qquad (115.4)$$

Cu aceste notaţii, ecuaţia (115.1) se reduce, pentru noua funcţie de cîmp $u = \vartheta/\theta$, la:

$$\frac{d^2u}{dx^2} - u + 1 = 0. \qquad (115.5)$$

Condiţia unei *răciri perfecte* la cleme devine:

$$u = 0, \text{ la } x = \pm x_1 = \pm \frac{l}{X}, \qquad (115.6)$$

iar în centru, simetria cere:

$$\frac{du}{dx} = 0, \text{ la } x = 0. \qquad (115.7)$$

Soluţia ecuaţiei (115.5), care corespunde acestor condiţii, este:

$$u = 1 - \frac{\text{ch}\, x}{\text{ch}\, x_1}, \qquad (115.8)$$

care la centru $x = 0$, dă temperatura numerică maximă:

$$u_0 = 1 - \frac{1}{\text{ch}\, x_1}. \qquad (115.9)$$

Gradientul la capete are valoarea: $u' = -\text{th}\, x_1$.

Dacă răcirea la cleme nu se consideră perfectă, ci conform legii (115.2) condiţia (115.6) se înlocuieşte cu:

$$\frac{du}{dx} = -hu, \text{ la } x = \pm x_1, \qquad (115.10)$$

unde:

$$h = \frac{\eta}{\lambda} X = \frac{\eta}{\lambda} \sqrt{\frac{\lambda\vartheta}{\alpha P}} = \frac{\eta}{2} \sqrt{\frac{d}{\alpha\lambda}} = \frac{1}{g}. \qquad (115.11)$$

Soluţia problemei este dată, în acest caz, de expresia:

$$u = 1 - \frac{\text{ch}\, x}{\text{ch}\, x_1 + g\, \text{sh}\, x_1}. \qquad (115.12)$$

Temperatura maximă la mijloc este:

$$u_0 = 1 - \frac{1}{\text{ch}\, x_1 + g\, \text{sh}\, x_1}, \qquad (115.13)$$

iar cea minimă, la cleme:

$$u_1 = 1 - \frac{1}{1 + g\, \text{th}\, x_1}, \qquad (115.14)$$

unde gradientul este:

$$u_1' = -\frac{1}{\text{cth}\, x_1 - g}. \qquad (115.15)$$

În cazul răcirii perfecte, soluţia se pretează uşor la o reprezentare cu x_1 ca parametru (fig. 180).

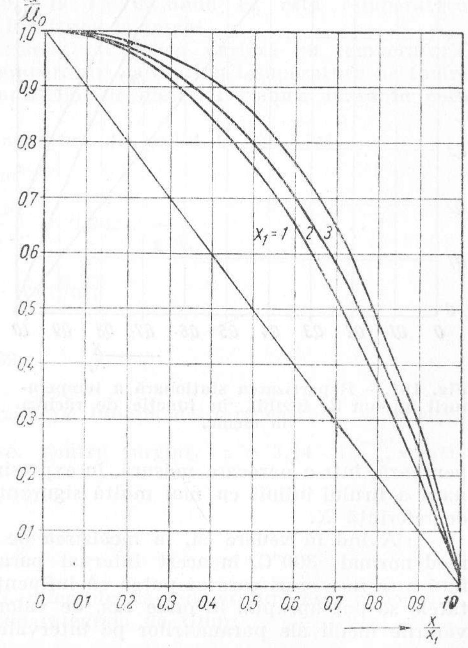


Fig. 180.— Repartizarea temperaturii staţionare într-un fir fuzibil cu răcire perfectă la capete, în funcţie de lungimea relativă.

Pentru reprezentarea comportării firului fuzibil la răcire imperfectă, s-a reprezentat repartizarea staţionară a temperaturii în fir, în funcţie de coordonata axială relativă $x' = \frac{x}{x_1}$, avînd coeficientul $1/h = g$ ca parametru (fig. 181).

Interpretarea rezultatelor se poate face pe baza acestor rezultate, în felul următor:

α) *Dacă răcirea la cleme este eficace* (cleme masive, conductori de racord de mare secţiune), repartizarea staţionară a temperaturii depinde numai de lungimea relativă a firului, dată de expresia (115.6). La lungimi relative mari, temperatura de la mijloc se extinde spre capete, căldura cedată clemelor crescînd. La lungimi relative mici există o limită a concentrării temperaturii către centru.

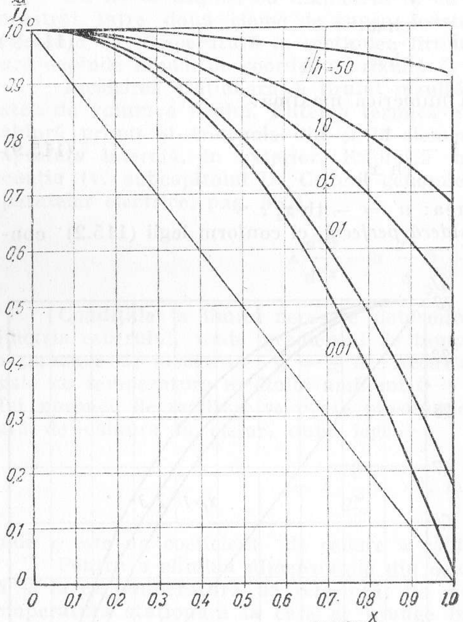


Fig. 181. — Repartizarea staţionară a temperaturii într-un fir fuzibil, în funcţie de răcirea la cleme.

β) *Dacă răcirea este imperfectă*, temperatura creşte faţă de cazul de mai sus, mai ales la capete, unde nu se mai poate menţine valoarea temperaturii ambiante, ci o temperatură care reprezintă o fracţiune cu atît mai mare din temperatura la mijloc, cu cît coeficientul de răcire la cleme este mai mic. Acest rezultat este în completă concordanţă cu experienţa.

γ) Dintre toţi parametrii deduşi în teoria de mai sus, α şi h prezintă o mare importanţă, deoarece măsurarea lor întîmpină greutăţi. Coeficientul de transmitere a căldurii α influenţează, între altele, şi lungimea de referinţă, conform expresiilor (115.3) şi (115.4). Valoarea lui se poate stabili experimental cu mai mare precizie.

δ) Evident, toţi parametrii de material şi formă au o variaţie de temperatură. Astfel, ρ şi α cresc, iar λ scade cu temperatura. De aceea, creşterile lui α şi ρ se compensează, într-o oarecare măsură, în expresia (115.3), care dă temperatura staţionară a firului infinit cu mai multă siguranţă, decît dă expresia (115.4) lungimea de referinţă X.

Avînd în vedere că, la încălzirea de regim, temperaturile nu depăşesc în mod normal 300°C, în acest interval parametrii pot fi consideraţi constanţi, fără a se face erori care ar putea să influenţeze calculele de dimensionare. Rezultatele se pot apropia, în orice caz, de valorile reale, dacă se introduc în calcule valorile medii ale parametrilor pe intervalul de temperatură dat.

116. Încălzirea şi topirea la scurtcircuit. Curentul creşte instantaneu la valori foarte mari faţă de curentul normal. Firul care are o repartizare staţionară de temperatură în funcţie de dimensiuni, condiţii de răcire, sarcină anterioară etc.,

este adus, de obicei, în prima semiperioadă, adică în fracţiuni de secundă, la topire. În această fază, cedarea de căldură către mediul ambiant se poate neglija în schimb trebuie să se ţină seamă de variaţia cu temperatura a tuturor parametrilor de material.

Firul absoarbe, în timpul fuziunii, o cantitate de căldură constantă, numită căldura de fuziune, temperatura menţinîndu-se constantă.

Materia topită a firului continuă să se încălzească sub acţiunea curentului care se scurge prin metalul topit, pînă cînd acesta se evaporează. Rezistivitatea electrică a materialului topit este un multiplu al valorii din starea solidă, deci curentul este micşorat prin creşterea rezistenţei.

În cursul şi după faza de topire şi evaporare, se poate considera că firul îşi pierde consistenţa sub acţiunea forţelor electrodinamice ale curenţilor de aer turbulenţi şi a gravitaţiei, şi se dezintegrează, locul lui fiind luat de arcul electric.

Din ecuaţia diferenţială (115.1) se elimină termenii pentru răcire laterală şi conductibilitate axială:

$$\frac{d\vartheta}{dt} = j^2 \frac{\rho}{\gamma c}. \qquad (116.1)$$

Termenul din dreapta dă viteza de creştere a temperaturii şi se poate numi « intensitatea încălzirii », notîndu-se cu A.

Condiţia iniţială rămîne $\vartheta = \vartheta_0$, la $t = 0$, unde ϑ_0 este temperatura maximă staţionară de la care începe încălzirea la topire.

Parametrii de material din termenul al doilea variază cu temperatura. Deoarece fenomenul evoluează spre temperaturi care ating temperatura de topire (961°C pentru argint), variaţia parametrilor de material trebuie luată în consideraţie.

Datele fizice fundamentale pentru fire de argint la 0°C sînt:

$$\gamma_0 = 10{,}5 \text{ g/cm}^3;$$

$$c_0 = 0{,}0556 \frac{\text{cal}}{\text{g °C}} = 0{,}232\,7 \frac{\text{J}}{\text{g °C}};$$

$$\rho_0 = \frac{1}{66{,}4} \ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m};$$

$$\left(\gamma \frac{c}{\rho}\right)_0 = 162.$$

Considerînd într-o primă aproximaţie funcţia de temperatură a mărimii $\gamma \frac{c}{\rho}$ liniară şi coeficientul luîndu-se, pentru argint, $\varepsilon = 3{,}14 \cdot 10^{-3}$, soluţia ecuaţiei diferenţiale (116.1), se poate scrie:

$$\vartheta = \frac{1}{\varepsilon} (e^{\varepsilon A_0 t} - 1). \qquad (116.2)$$

Deoarece, din natura problemei, diferenţa de temperatură este cunoscută, expresia se poate rezolva în funcţie de integrala de timp:

$$A_0 t = \frac{1}{\varepsilon} \ln (1 + \varepsilon\vartheta). \qquad (11.63)$$

Din această ecuație se poate stabili timpul de topire, dacă se cunoaște fie valoarea constantă a curentului, fie integrala de curent, în cazul cînd aceasta variază.

Pentru a se evita calcule dificile, soluția poate fi dată mai precis și mai ușor, dacă se adoptă metode grafice de integrare și de reprezentare (Avramescu). Astfel, curba de încălzire a firelor de argint este reprezentată în fig. 39.

117. **Calculul topirii și al evaporării.** La energia necesară pentru ridicarea temperaturii pînă la punctul de fuziune trebuie să se adauge căldura de fuziune:

$$L = \frac{\rho_1}{\gamma} \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt, \tag{117.1}$$

unde ρ_1 este rezistivitatea materialului la punctul de topire. Pentru argint $L = 111{,}3$ J/g.

Fenomenul încălzirii și al topirii la curent constant se poate contopi, după M i h a i l o v, într-o singură formulă, care dă timpul de fuziune:

$$t = \frac{\gamma}{i^2} \left[\frac{c_m (\vartheta_1 - \vartheta_0)}{\rho} + \frac{L}{\rho_1} \right], \tag{117.2}$$

unde c_m este o valoare medie a căldurii specifice în intervalul de temperatură respectiv.

118. **Stingerea arcului.** După ce firul fuzibil a fost dezintegrat în întregime sau parțial, apare arcul electric, care, la fuzibile de înaltă tensiune, se extinde de obicei pînă la cleme. Toată fenomenologia arcului de curent alternativ de înaltă tensiune este prezentă. În consecință, și metodele de stingere sînt, în principiu, cele cunoscute din teoria întreruptoarelor de putere, cu unele modificări și adaptări, în funcție de dispoziția locală.

α) *În tuburi deschise,* firul fuzibil este înconjurat întîi de aer, apoi de pereții tubului. La apariția arcului se produce în tub un puternic curent de aer ascendent care contribuie la răcirea și la stingerea arcului. Efectul de răcire se poate mări prin apropierea pereților, de exemplu prin introducerea firului fuzibil într-un tub izolant îngust. Diametrul spațiului în care se dezvoltă arcul este, în astfel de cazuri, puțin mai mare decît diametrul firului fuzibil. Strangularea arcului are ca urmare creșterea cîmpului electric axial, deci a tensiunii la borne.

Stingerea poate fi favorizată de gazele care se degajă din tubul izolant, dacă se alege dintr-un material corespunzător: fibră vulcanizată, plexiglas, eventual și pertinax.

Forțele electrodinamice pot avea un rol în stingerea arcului, dacă se creează o buclă în calea curentului.

β) *Tuburile cu medii de răcire* sau extinctoare se utilizează la puteri de rupere mari și la curenți puternici. Firul fuzibil este împresurat de un material refractar, sub formă de praf, nisip, cum sînt: nisipul cuarțos, praful de marmoră, acidul boric etc., sau sub formă lichidă, ca uleiul, tetraclorura de calciu. În atingere cu arcul, mediul degajă gaze, care intră cu mare viteză și cu mișcări turbulente în mediul înconjurător, răcind în mod eficace zona arcului.

Parte din materialul refractar, topit în apropiere de arc, poate produce un efect favorabil stingerii arcului, prin crearea unui canal conductor legat în paralel cu arcul.

Stingerea arcului mai este favorizată și de presiunea mare care se produce în interiorul tubului, în cursul arderii arcului. Pentru a limita această presiune se prevăd, la curenții mari, supape de siguranță.

Cu toate că fenomenul de stingere a arcului este complex, el se poate calcula prin aplicarea legii energiei. Curentul fiind, în general, dat, se stabilește bilanțul energetic între energia curentului și cea disipată. Condiția ca arcul produs să fie întrerupt, este, în mod surprinzător, ca după topirea fuzibilului *să apară o supratensiune la bornele siguranței.* Dacă această supratensiune depășește o anumită limită, cîmpul axial în arc nu mai este suficient pentru a acoperi pierderile de energie ale arcului, și acesta se stinge.

Teoretic, se poate stabili următoarea relație pentru valoarea maximă a intensității cîmpului, în momentul întreruperii:

$$\mathcal{E}_{a\,max} = \mu \frac{S}{I_f} (T - T_0), \tag{118.1}$$

unde μ este coeficientul de transmitere a căldurii dintre gazele arcului și mediul înconjurător;
S — suprafața eficace de răcire a gazelor calde pe unitatea de lungime;
T_0 — temperatura mediului înconjurător, în °K;
I_f — intensitatea curentului de fuziune, în A.

Din această relație rezultă că:
— suprafața de răcire, adică de contact între mediu și gazele arcului, trebuie să fie cît mai mare;
— curentul de fuziune trebuie să fie cît mai mic, adică fuzibilul să fie subîmpărțit;
— coeficientul de transmitere a căldurii să fie cît mai mare, ceea ce, la viteza foarte mare a fuziunii, înseamnă că mediul de stingere trebuie să aibă o conductivitate termică mare;
— temperatura T a arcului trebuie să fie cît mai mare, ceea ce se realizează prin răcirea eficace a coloanei și reducerea consecutivă a diametrului arcului.

Valoarea intensității cîmpului la care arcul se stinge, în astfel de fuzibile, este de:

$$\mathcal{E}_a \approx 350 \text{ V/cm}.$$

Considerînd că tensiunea între bornele fuzibilului se ridică, în momentul ruperii arcului, la de două ori tensiunea de exploatare, rezultă:

$$\mathcal{E}_a = \frac{2U_0}{l}.$$

Din aceste relații se poate calcula lungimea fuzibilului și, dacă suprafața de răcire și curentul de fuziune I_f sînt cunoscute, se poate calcula valoarea necesară a coeficientului de transmitere a căldurii. Valori de $\mu = 0{,}5$ W/cm² °C se pot obține în nisip de cuarț. Curentul de fuziune a firelor fuzibile obișnuite este de ordinul a 500 A.

Cu aceste elemente, fuzibilul se poate calcula.

d) Principii constructive

119. **Construcția fuzibilelor de înaltă tensiune.** Fuzibilele de înaltă tensiune se construiesc pînă la intensități nominale de 400 A și tensiuni de 110 kV. În general, fuzibilele suportă intensitatea lor nominală în mod permanent, dar se topesc în 1—5 min, dacă această intensitate este depășită cu 15%.

În ultimele decenii s-a reușit să se construiască siguranțe fuzibile de înaltă tensiune cu o mare putere de rupere, care, în anumite cazuri, pot să înlocuiască întreruptoarele automate. La 3 000 V s-a ajuns pînă la curenți nominali de 400 A, iar la 10 000 V, pînă la 100 A, puterea de rupere corespunzătoare ajungînd pînă la 1 000 kVA.

Seria valorilor curenţilor şi tensiunilor nominale uzuale ale fuzibilelor de înaltă tensiune este:

U_n kV	3,	6,	10,	20,	35,	60,	100;
I_n A	400,	200,	100,	50,	40,	15,	6;

Contactele sînt dispuse de multe ori astfel, încît fuzibilul poate să funcţioneze şi ca un separator.

Pînă la intensitatea de 60 A contactele sînt de obicei inele metalice dispuse la extremităţi, pe cînd la intensităţi mai mari se preferă cuţite de contact dispuse la extremităţile tubului, şi care intră în furci de contact similare cu cele cunoscute la separatoare. Tuburile sînt de obicei umplute cu un material refractar, care, în contact cu arcul, contribuie la răcirea şi la stingerea lui cît mai rapidă. Tipurile complet închise sînt de preferat.

S-au construit şi diferite mecanisme, spre a înlocui în mod automat un fuzibil ars cu unul intact.

120. **Caracteristicile fuzibilelor,** care sînt hiperbolice, pot fi variate în oarecare limite, prin alegerea materialelor şi a dispoziţiei constructive. Timpul de fuziune şi intensitatea minimă suportată permanent mai variază în funcţie de condiţiile locale din instalaţie, cum şi cu sarcina imediat anterioară. Caracteristicile sînt de obicei bazate pe o temperatură ambiantă de 20°C şi pe o intensitate limită care topeşte fuzibilul în cinci minute sau mai puţin. Caracteristicile fuzibilelor trebuie să fie coordonate în ce priveşte timpurile şi intensităţile de funcţionare în toată gama de curenţi de scurtcircuit, spre a se asigura o selectivitate în limite admisibile, deoarece curbele de funcţionare diferă de cele ale releelor de protecţie.

e) Diferite tipuri constructive

121. **Tipuri cu tensiuni pînă la 10 kV.** α) Tipul montat pe mînere izolante de porţelan sau de fibre presate, sau închise în cutii de fibră, fixate pe un postament de porţelan. Aceste tipuri se utilizează pe circuite de distribuţie şi în substaţii cu tensiuni pînă la 6 kV şi, uneori, chiar şi la 15 kV.

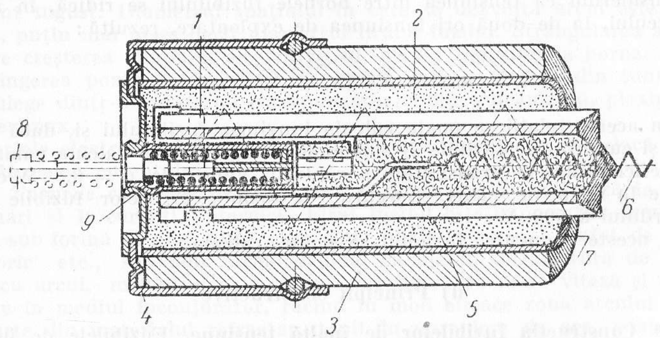


Fig. 182. Siguranţă tubulară cu fir de argint şi wolfram, în nisip:
1 — miez ceramic; *2* — nisip; *3* — tub de porţelan; *4* — capac de alamă; *5* — fir fuzibil; *6* — fir semnalizare; *7* — strat gips; *8* — semnalizator; *9* — capac de cupru.

β) Tipul montat într-o carcasă de ceramică sau din sticlă umplută cu ulei, utilizat, din cauza capacităţii de curent mult mai mare, la protecţia transformatoarelor de putere redusă sau în substaţii. La aceste tipuri există pericolul ca, în cazul unor scurtcircuite puternice, arcul să nu se stingă, carcasa să fie spartă de presiunea gazelor şi uleiul aprins să producă scoaterea din funcţiune a instalaţiei.

122. **Tipuri cu tensiuni peste 10 kV.** γ) Tipul în tub de porţelan cu un fir central de argint şi cu unul de wolfram, care funcţionează ca ecran (fig. 182). Tubul este umplut cu gips, praf de marmoră în tole, sau cu nisip de cuarţ pur (SiO_2 99 %).

δ) Tipul închis într-un tub de sticlă sau de porţelan rezistent, umplut cu un lichid special de stingere a arcului, utilizat pînă la tensiuni de 100 kV. Ca lichid se întrebuinţează tetraclorura de carbon, deoarece nu îngheaţă şi nu coagulează. Capacitatea de rupere este cuprinsă între 35 şi 20 kA, la tensiuni de 6—35 kV (fig. 183).

123. **Tipuri cu puteri de rupere mari.** ε) Tipul cu expulsie, conţinînd acid boric, care produce gaze sub influenţa arcului produs după arderea firului fuzibil, ceeace contribuie la desionizarea şi la stingerea rapidă a arcului. Puterile de rupere ale acestui tip sînt, din această cauză, mult mai mari decît cele ale tipurilor anterioare. Ele sînt cuprinse între 300 şi 1200 MVA, pentru tensiuni de 6—35 kV.

ζ) Fuzibile de limitare a curentului, care introduc în circuit o rezistenţă a arcului, mult mai mare decît cea a firului fuzibil, încă din prima jumătate de perioadă a curentului de scurtcircuit. Aceste tipuri nu sînt indicate în circuite cu tensiuni sub 70 % din tensiunea nominală a fuzibilului (fig. 184). Seria de fuzibile de înaltă tensiune întrebuinţate curent în Uniunea Sovietică şi desvoltată de M e l c u m o v face parte din această clasă. Puterile de rupere ale acestor siguranţe sînt cuprinse între 250 şi 1500 MVA, la tensiuni nominale pînă la 25 kV.

f) Aplicaţii

124. **Alegerea fuzibilelor,** se face pe baza solicitărilor maxime care pot apărea la locul instalării.

Domeniul lor principal de aplicare este protecţia contra scurtcircuitelor a instalaţiei din aval faţă de sursa de energie. Ele se utilizează deobicei, pentru protecţia contra supraintensităţilor a reductoarelor de tensiune, a transformatoarelor de distribuţie de puteri reduse şi, uneori, la protecţia unor derivaţii de circuite în locul unui întreruptor automat, din cauză că se topesc înainte ca intensitatea de scurtcircuit să ajungă la o valoare mare, periclitînd instalaţia. În schimb, nu se poate garanta o separare pe toate fazele, iar fuzibilul ars trebuie înlocuit.

Dacă fuzibilele se montează în serie cu alte fuzibile sau cu întreruptoare automate, se cere o acordare a curenţilor de rupere, pentru a asigura selectivitatea necesară.

La transformatoare de distribuţie sau de servicii interne, fuzibilele de pe partea de înaltă tensiune preiau protecţia contra scurtcircuitelor, pe cînd protecţia contra suprasarcinilor rămîne rezervată fuzibilelor şi întreruptoarelor de pe partea de joasă tensiune. Deaceea, fuzibilele de înaltă tensiune trebuie să se topească după cele de joasă tensiune.

125. **Dispunerea în instalaţii.** Pentru a evita supratensiuni de rezonanţă între inductanţa transformatorului şi capacitatea circuitului care rămîne sub tensiune, siguranţele vor fi dispuse mai aproape de transformator.

O dispoziţie favorabilă prevede siguranţe fuzibile de înaltă tensiune în serie cu un separator de sarcină, care preia manevrarea circuitului în exploatare, pe cînd fuzibilul intervine numai la scurtcircuite.

126. **Aplicaţii speciale.** Pentru a preveni efectele desavantajoase ale topirii pe o singură fază, unele fuzibile sînt prevăzute cu un contact care, la topire, acţi-

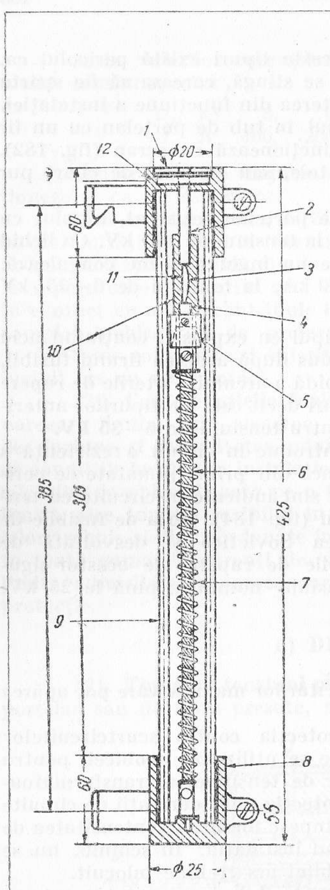


Fig. 183.— Siguranță fuzibilă cu arc și lichid special de stingere, 15 kV, 1 — 100 A:

1 — capac găurit; *2* — contact de arc superior; *3* — fir fuzibil; *4* — contact de arc inferior; *5* — piston pentru dirijarea lichidului; *6* — cablu flexibil de cupru; *7* arc de oțel; *8* — inel de contact inferior; *9* —tub de sticlă cu lichid de stingere; *10* — barieră; *11* — fir de întindere; *12* — inel de contact superior.

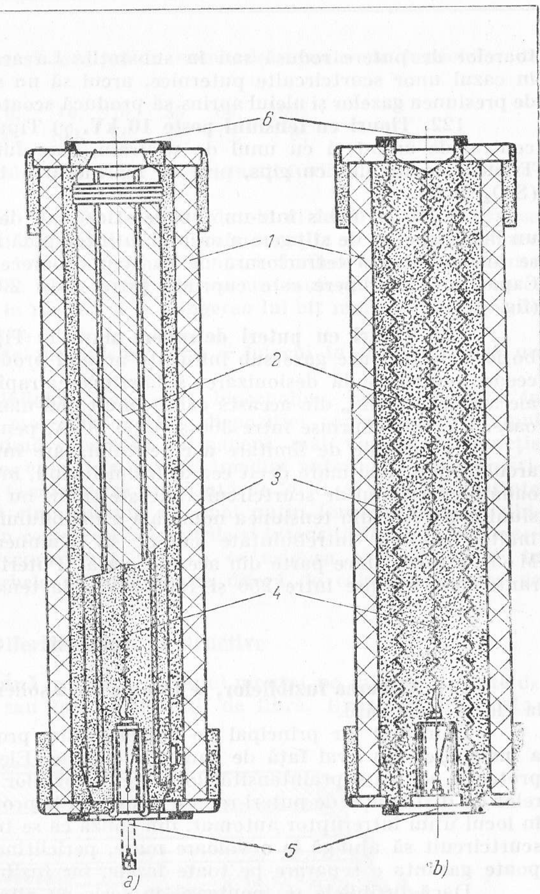


Fig. 184. — Siguranțe tubulare de mare putere de rupere (după Melcunov):

a — cu fire fuzibile înfășurate pe un miez ceramic; *b* — cu fire fuzibile spiralate; *1* — tub; *2* — fir fuzibil; *3* — nisip de cuarț; *4* — fir indictor; *5* — semnalizator; *6* — capac.

onează asupra unui dispozitiv de semnalizare sau comandă declanșarea întreruptorului de forță respectiv.

La arderea unui fuzibil într-o celulă de măsură pe circuitul reductorului de tensiune, citirile sau înregistrările aparatelor de măsură sînt falsificate. În stații nu se poate renunța la fuzibile pe aceste circuite, dar la abonații protejați prin întreruptoare automate se poate renunța la cele de pe partea de înaltă tensiune a reductoarelor de tensiune, protejîndu-se aceste aparate contra suprasarcinilor numai cu fuzibile pe partea de joasă tensiune.

P. Separatoare

a) Definiții

127. **Separatoarele,** (numite și secționoare) sînt aparate de conectare, destinate conectării și deconectării circuitelor sub tensiune, dar fără sarcină, separarea fiind vizibilă și cu suficientă izolație, pentru ca pe circuitul deconectat, personalul de întreținere să poată executa lucrări în deplină siguranță (GOST (689-41).

128. **Prescripții de manevră și de siguranță.** Conform prescripțiilor, pentru siguranța personalului care lucrează în instalații electrice de înaltă tensiune (prescripțiile GOST, prescripțiile VDE 1001 § 9 etc.), aceste instalații de înaltă tensiune vor putea fi separate pe secțiuni, cu ajutorul separatoarelor, pentru a putea permite executarea lucrărilor de întreținere în secțiunile deconectate. Separarea trebuie să se facă în mod vizibil, pentru ca poziția deconectată sau conectată a separatorului să se poată constata fără dubiu. Pe de altă parte, separarea trebuie să se facă cu o izolație mai mare decît izolația obișnuită între conductorii de fază, pentru a da o deplină siguranță personalului care execută lucrări în secțiunile separate. În adevăr, la bornele unui separator deschis pot să apară tensiuni mai mari decît cele care intervin între conductorii de fază, în cazul cînd o parte și alta a separatorului sînt alimentate de surse care nu sînt în sincronism (la opoziție de fază poate apărea dublul tensiunii între faze).

b) Manevrarea separatoarelor

129. **Principii generale.** Separatoarele se manevrează în general fără curent de sarcină. În cazuri excepționale se pot întrerupe prin ele curenți de sarcină reduși, cum sînt: curenții de magnetizare ai transformatoarelor, sau curenții capacitivi ai liniilor și ai cablurilor sub tensiune.

Tabela 27. Curenți și puteri maxime care se pot întrerupe cu separatoare

Tensiunea nominală U_n, kV	6–10	15–30	sarcină neinductivă	
Curentul maxim care se poate întrerupe I, A	4	2	sarcină neinductivă	
Puterea maximă a transformatorului care se poate separa în gol P_T, kVA	500–250	600–300	—	—

130. **Curenți limită.** Practic, se consideră curenții din tabela 27 ca limite maxime care se pot întrerupe fără pericol, cu ajutorul separatoarelor, dacă sarcina nu este pur inductivă.

Dacă sarcina este pur inductivă sau capacitivă, nu se pot întrerupe curenţi din tabelă. În aceste din urmă cazuri, dificultatea ruperii arcului constă în faptul că, în timpul trecerii curentului prin valoarea zero, tensiunea defazată cu circa $\pi/2$ este aproape de amplitudine, ceeace favorizează reaprinderea arcului.

131. Consideraţii asupra stingerii arcului. Separatorele obişnuite nu au dispozitive pentru stingerea arcului, astfel încît arcul care se produce la deschiderea contactelor nu se poate stinge singur decît dacă valorile curentului nu depăşeşte pe acele din tabela 27. În cazul cînd arcul nu se poate stinge între furcile şi cuţitele separatorului, el trece aproape totdeauna asupra fazelor învecinate, producînd un scurtcircuit, care are ca urmare, în cele mai multe cazuri, distrugerea separatorului respectiv, ceea ce se întîmplă deobicei la deschiderea separatorului în sarcină.

Separatorul se poate manevra fără pericol şi sub sarcină, dacă, paralel cu circuitul care urmează să fie deschis, există o cale de curent cu rezistenţă minimă. De exemplu: trecerea de pe o bară pe alta a unei plecări sau alimentări, dacă barele sînt sincronizate prin cuplă.

132. Condiţii de manevrare. În sisteme polifazate, cuţitele separatoarelor trebuie să fie manevrate, pe cît se poate, simultan, chiar fără curenţi de sarcină, pentru a se evita producerea supratensiunii.

Separatoarele unipolare se manevrează, deobicei, cu ajutorul unor prăjini de manevră izolate. Separatoarele multipolare, fixate deobicei pe cadre metalice, se acţionează manual (cu mîner), prin mecanisme cu pîrghie, prin servomotoare cu aer comprimat, lichide sub presiune, sau prin electromotoare, respectiv prin electromagneţi.

c) Construcţia separatoarelor

133. Descriere sumară. Separatoarele de înaltă tensiune sînt deduse constructiv din întreruptoarele de joasă tensiune cu pîrghie. Separatoarele de înaltă tensiune sînt formate din cuţite metalice fixate pe capacul unui izolator suport, cuţite care pot intra în contactele unor furci, montate pe alte izolatoare suport. Cuţitele se pot scoate din furci şi pot fi îndepărtate de acestea, prin manevrarea separatorului, ele basculînd sau rotindu-se în jurul unui ax fix (fig. 185). Există separatoare cu braţe culisante, spaţiul ocupat fiind mai redus decît la cuţite; în sfîrşit, prin braţe în formă de pantograf se poate reduce numărul izolatoarelor la unul.

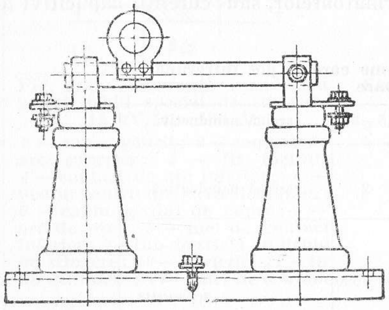


Fig. 185. — Separator unipolar.

134. Clasificare (după GOST 689-41). Separatoarele se clasifică după următoarele criterii:

a) După tensiunea nominală: în R.P.R. tensiunile conform STAS 931-50, iar în U.R.S.S. tensiunile 3, 6, 10, 15, 20, 35, 110, 154, 220 kV.

b) După tensiunea maximă de exploatare: deobicei pînă la 15 kV, tensiunea nominală sporită cu cel mult 15%; peste 15 kV, tensiunea nominală sporită cu cel mult 10%.

c) După intensitatea nominală: 200, 400, 600, 1 000, 1 500, 2 000, 3 000, 4 000, 5 000 A (după GOST).

d) După felul instalaţiei: separatoare pentru instalaţii de interior sau de exterior (în aer liber).

e) După numărul polilor şi felul antrenării lor: unipolare şi multipolare.

f) După felul mişcării şi după felul construcţiei:

— separatoare tip « pîrghie » cu cuţite care se deplasează în planul axelor izolatoarelor unor faze, cuţitele basculînd în jurul unui ax perpendicular pe acest plan (a se vedea fig. 185, 186, 188, şi 190).

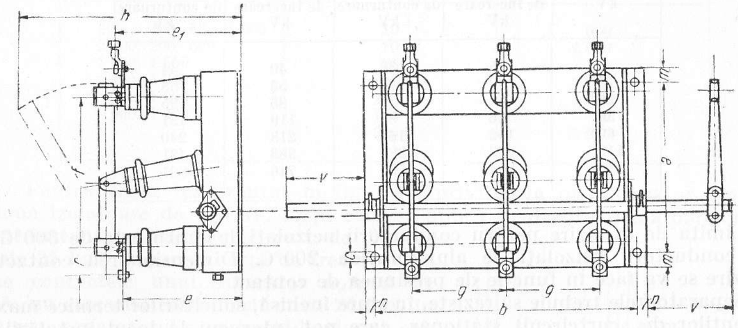


Fig. 186. — Separator tripolar normal.

— separatoare tip rotativ, la care braţele de contact fixate pe un izolator rotativ se rotesc într-un plan perpendicular pe planul axelor izolatoarelor de fază (v. fig. 192 şi 193);

— separatoare basculante, la care mişcarea cuţitelor sau a braţelor de contact se face în planul izolatoarelor unei faze, prin intermediul unui izolator basculant (a se vedea fig. 189).

— separatoare cu braţe de contact culisante;

— separatoare cu pantograf.

g) separatoarele pot să fie fără sau cu cuţite de punere la pămînt. Cuţitele de punere la pămînt sînt necesare la plecări din staţii pentru punerea la pămînt a liniilor şi a cablurilor pe durata executării lucrărilor de întreţinere.

h) După poziţia în instalaţii, se deosebesc separatoare montate în plan vertical (a se vedea fig. 186) şi separatoare montate în plan orizontal (a se vedea fig. 185).

d) Condiţii cerute separatoarelor

135. Tensiunea. Separatoarele trebuie să corespundă, din punctul de vedere al tensiunii, condiţiilor impuse de prescripţii pentru aparate de înaltă tensiune, privind tensiunea nominală respectivă.

Încercarea izolaţiei se face separat între contacte şi postament, între conductorii diferitelor faze şi între bornele aceleiaşi faze, cu separatorul deschis. Tensiunea de conturnare alternativă la frecvenţă normală este diferită pentru fiecare dintre aceste trei feluri de izolaţii (tabela 28).

136. **Încălzirea.** Intensitatea nominală trebuie să fie suportată de separatorul închis în regim permanent, fără să se producă o încălzire a părților separatorului mai mare decît cea admisibilă.

Tabela 28. Tensiunile de încercare și de conturnare a separatoarelor

Tensiunea de serie kV	Tensiunea alternativă între faze		Tensiunea alternativă între contacte	
	de încercare kV	de conturnare kV	de încercare kV	de conturnare kV
6	35	36	40	44
10	42	46	53	58
20	64	70	86	95
30	86	95	119	131
60	152	167	218	240
110	262	288	383	421
220	504	555	746	821

Limita de încălzire pentru conductorii neizolați de cupru este de 300°C, iar pentru conductorii neizolați de aluminiu de 200°C. Dimensionarea contactelor la încălzire se va face în funcție de presiunea de contact.

Separatoarele trebuie să reziste, în stare închisă, solicitărilor termice maxime ale curenților de scurtcircuit staționar, care pot interveni la locul instalării lor. Constructorul dă indicații asupra acestei rezistențe, indicînd, deobicei, intensitatea maximă pe care separatorul o suportă, din punct de vedere termic, timp de o secundă.

Încălzirea părților conductoare este condiționată de durata întreruperii curentului de scurtcircuit staționar, de către întreruptorul respectiv.

Metodele de verificare la încălzire a separatoarelor pot fi urmărite, în detaliu, în normele GOST BKTF 8555/1472: « Încălzirea aparatelor de înaltă tensiune în regim permanent ».

137. **Solicitări mecanice.** Separatoarele trebuie să reziste, în stare închisă, solicitărilor mecanice și termice ale curenților de scurtcircuit maxim, care pot trece prin instalațiile unde urmează a fi montate. În acest scop, drumul curentului va fi cît se poate de liniar. Se vor evita bucle în drumul curentului, pentru a nu se provoca deschiderea separatorului prin efectul dinamic al curenților de scurtcircuit, ceea ce ar putea duce la un scurtcircuit între faze.

Tabela 29. Rezistența mecanică a izolatoarelor separatoarelor de tip interior

Curentul nominal al separatoarelor A	Tensiunea nominală kV	Sarcina minimă de rupere la încovoiere kg
200, 400, 600, 1 000	6, 10, 15, 20, 35	375
1 500, 2 000, 3 000, 4 000	6, 10, 15, 20, 35	750
5 000	10, 15, 20	2 000

După forța maximă admisibilă cu care se pot solicita la vîrf izolatoarele-suporți, separatoarele, ca și orice alte aparate de înaltă tensiune care conțin izolatoare-suporți, se împart în trei clase (STAS 1785-52):

Tip A 350 kgf, Tip B 750 kgf, Tip C 1250 kgf.

După normele GOST 689-41, sarcina minimă de rupere la încovoiere a izolatoarelor-suporți întrebuințate la construcția separatoarelor, se ia din tabelele 29 și 30.

Tabela 30. Rezistența mecanică a izolatoarelor separatoarelor de tip exterior

Curentul nominal al separatoarelor A	Tensiunea nominală kV	Sarcina minimă de rupere la încovoiere kg
200, 400, 600, 1 000	10	500
2 000, 200, 600	10	2 000
1 000, 1 500	35	750
600, 1 000	35	1 000
600, 1 000	110	300
600, 1 000	154	300
	220	250

Pentru cazul reprezentat în fig. 187, privitor la un separator monopolar cu două izolatoare de trecere, forța care se aplică în dreptul izolatoarelor, la un curent instantaneu de scurtcircuit de 30 kA, este de 35 kgf. Deoarece forța de frecare care reține contactele unui separator normal de 200 A, nu este mai mare decît circa 20 kgf, în acest caz, separatorul s-ar deschide singur sub influența curentului.

Forțele electrodinamice sînt cu atît mai mari, cu cît bucla este mai strînsă, deci distanța *s* mai mică, cu cît excentricitatea *h*, cum și distanța *e* a conductorului de întoarcere, sînt mai mari. Separatoarele cu izolatoare de trecere formează, în general, bucle periculoase. La separatoarele moderne, aceste bucle se evită perfect.

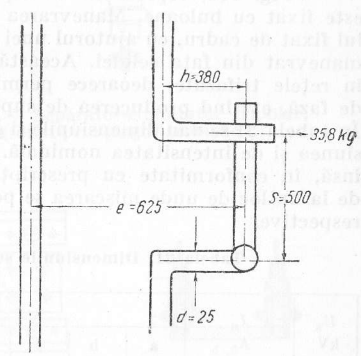


Fig. 187. — Forța la contacte, în cazul unui separator monopolar cu două izolatoare de trecere.

Separatoarele trebuie să suporte un număr de închideri și de deschideri repetate la încercările de tip care se fixează prin caiete de sarcini sau prin standarde. După GOST 689-41, numărul de închideri și de deschideri trebuie să fie de cel puțin:

2 000 pentru separatoare pînă la 35 kV inclusiv;
1 000 pentru separatoare pînă la 110 kV, și mai mult.

e) Detalii constructive

138. **Generalități.** În ultimele decenii s-au făcut mari progrese în construcția separatoarelor. Aceste progrese privesc, înainte de toate, construcția contactelor și reducerea numărului de izolatoare de înaltă tensiune necesare.

În ce privește contactele, experiența a demonstrat că tipul de contacte de suprafață ale cuțitelor laminate, care intră în furci cu piese de contact de tablă, își pierde eficacitatea la curenți mari, rezultînd o supraîncălzire a acestor contacte, care reduce și mai mult capacitatea lor de conducere, astfel încît degradarea devine progresivă. Tendința nouă în construcție se îndreaptă spre contacte masive, cu mică suprafață de contact și mare presiune, piesele de contact avînd mișcări suplimen-

tare de frecare a suprafețelor de contact, mai ales la separatoare de exterior, pentru a produce o curățire a acestor contacte de pături oxidate, de ghiață, de chiciură etc., și pentru a stabili un contact metalic pur, de mare presiune. Astfel de contacte îmbunătățesc considerabil siguranța în exploatare, evitînd supraîncălzirile.

Suprafețele de contact se pot arginta, deoarece argintul nu-și mărește rezistența de contact și nu se încălzește suplimentar, datorită oxidării suprafețelor.

Presiunea mare de contact mai este favorabilă și pentru evitarea deschiderii accidentale a separatorului, sub acțiunea dinamică a curenților de scurtcircuit.

Presiunea mare se realizează prin suprafețe cu o mică înclinație față de planul mișcării (efectul de pană), sau prin arcuri speciale. Aceste arcuri au deobicei forma de rozete și string contactele cu forțe dirijate perpendicular pe suprafețele de contact și pe planul de mișcare a cuțitelor. Arcurile rozete se construiesc dintr-un material care își păstrează calitățile elastice chiar la temperaturi mai înalte (pînă la 200—300°C). Exemplu: fig. 190.

139. **Forme constructive de separatoare.** Un separator unipolar normal este reprezentat în fig. 185. Acest separator se manevrează cu o prăjină izolată, care scoate cuțitul din furcile de contact, introducînd un cîrlig în inelul fixat de cuțit.

Înălțimea izolatoarelor este dată de distanța minimă de conturnare, deci de tensiunea nominală, iar diametrul izolatoarelor, de forța de rupere aplicată la vîrf.

Fig. 186, reprezintă un separator tripolar, montat pe un cadru de care este fixat cu buloane. Manevrarea separatorului se face prin rotirea manetei axului fixat de cadru, cu ajutorul unei prăjini izolate sau printr-un mecanism cu pîrgii manevrat din fața celulei. Această execuție este superioară execuției monopolare în rețele trifazate, deoarece permite separarea simultană pe cei trei conductori de fază, evitînd producerea de supratensiuni, prin deschiderea succesivă a fazelor. În tabela 31 se dau dimensiunile și gabaritele acestor separatoare, în funcție de tensiunea și de intensitatea nominală. Antrenarea se poate face și cu aer comprimat; însă, în conformitate cu prescripțiile, comanda separatorului trebuie să se facă de la un loc de unde mișcarea se poate urmări și anume, în general, din fața celulei respective.

Tabela 31. Dimensiunile separatoarelor tripolare de interior normale
(v. fig. 186)

U_s kV	I_n A	Dimensiuni a	b	c	e	e_1	f	g	h	m	n	r	v
6	200	300	460	14	192	205	270	160	400	22	18	46	130
	350	300	460	14	194	214	270	160	420	22	18	50	130
	600	300	460	14	196	219	270	160	460	22	18	60	130
10	200	340	520	14	237	250	300	185	475	29	18	46	160
	350	340	520	14	239	259	300	185	495	29	18	50	160
	600	340	520	14	241	264	300	185	535	29	18	60	220

Fig. 188 reprezintă schița unui separator unipolar cu unul sau două izolatoare de trecere. Acest tip se utilizează uneori pentru legarea reductoarelor de tensiune în dosul peretelui. El nu este recomandabil în instalații cu curenți de scurtcircuit mari, din cauza pericolului de a fi deschis de către forțele dinamice produse la acești curenți.

Separatoarele comutatoare (fig. 189) pot să înlocuiască fiecare cîte două separatoare normale, fiind mai ieftine decît acestea. Contactele se închid, deobicei, sau într-o parte sau într-alta și nu simultan.

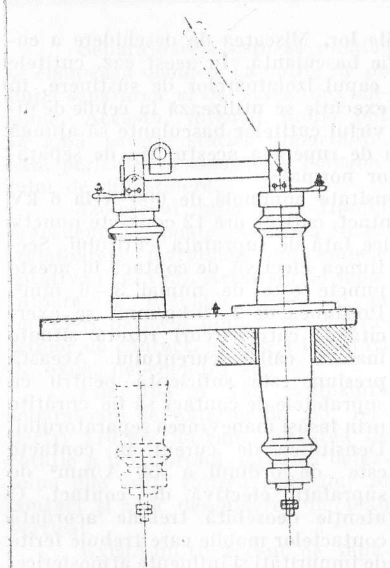


Fig. 188. — Separator monopolar, cu unul sau două izolatoare de trecere.

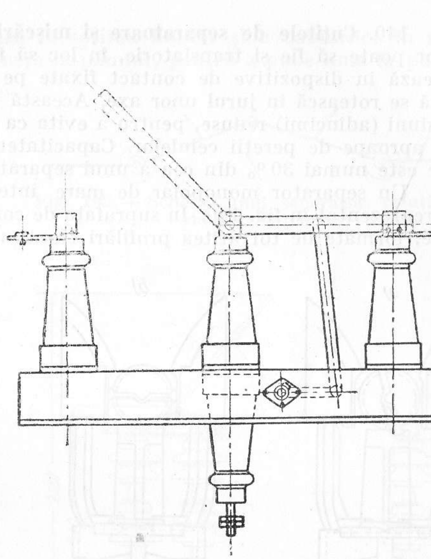


Fig. 189. — Separator-comutator tripolar, acționat prin pîrghii izolante.

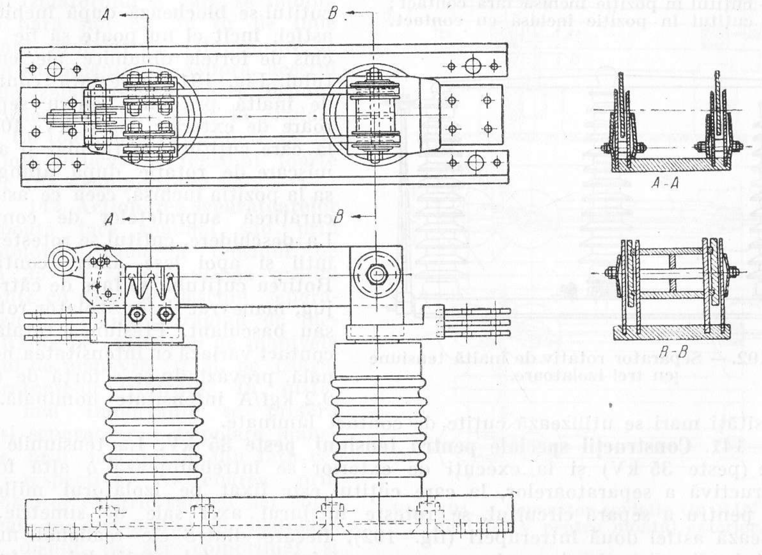


Fig. 190. — Separator monopolar de 600 A la 6 kV.

140. **Cuţitele de separatoare şi mişcările lor.** Mişcarea de deschidere a cuţitelor poate să fie şi translatorie, în loc să fie basculantă. În acest caz, cuţitele culisează în dispozitive de contact fixate pe capul izolatoarelor de susţinere, în loc să se rotească în jurul unor axe. Această execuţie se utilizează în celule de dimensiuni (adîncimi) reduse, pentru a evita ca vîrful cuţitelor basculante să ajungă pînă aproape de pereţii celulelor. Capacitatea de rupere a acestui tip de separatoare este numai 30 % din cea a unui separator normal.

Un separator monopolar de mare intensitate nominală de 600 A la 6 kV este reprezentat în fig. 190. În suprafaţa de contact, cuţitul are 12 contacte punctiforme, formate de tot atîtea profilări tronconice faţă de suprafaţa cuţitului. Secţiunea efectivă de contact în aceste puncte este de numai 3–6 mm². Presiunea de 2–6 kg/mm² se exercită de către arcuri rozetă situate înafara căilor curentului. Această presiune este suficientă pentru ca suprafeţele de contact să fie curăţite prin însăşi manevrarea separatorului. Densitatea de curent în contacte este de ordinul a 50 A/mm² de suprafaţă efectivă de contact. O atenţie deosebită trebuie acordată contactelor mobile care trebuie ferite de impurităţi şi influenţe atmosferice.

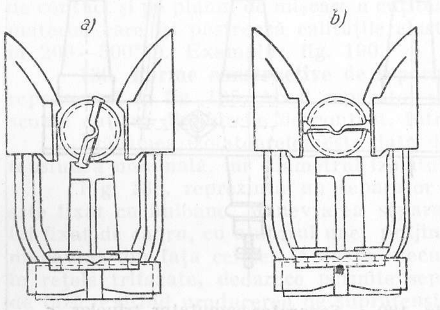


Fig. 191. — Contacte speciale pentru separatoare de exterior:
a — cuţitul în poziţie închisă fără contact;
b — cuţitul în poziţie închisă cu contact.

Contactul trebuie să fie perfect, indiferent de poziţia cuţitelor.

Există construcţii la care cuţitul se blochează după închidere, astfel, încît el nu poate să fie deschis de forţele dinamice ale curentului. Fig. 191 reprezintă contacte de înaltă presiune pentru separatoare de exterior de 35 kV, 400 A, la care cuţitul este tubular şi are o mişcare de rotaţie după ajungerea sa la poziţia închisă, ceea ce asigură curăţirea suprafeţelor de contact. La deschidere, cuţitul se roteşte mai întîi şi apoi iese dintre contacte. Rotirea cuţitului se face de către un jug, manevrat de un izolator rotativ sau basculant. Presiunea totală de contact variază cu intensitatea nominală, prevăzîndu-se o forţă de circa 0,2 kgf/A intensitate nominală. La intensităţi mari se utilizează cuţite de contact laminate.

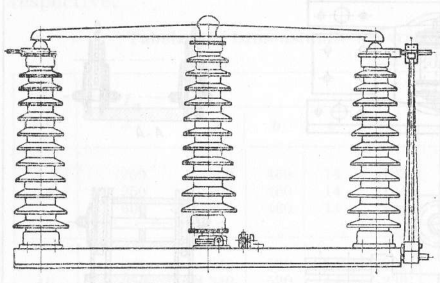


Fig. 192. — Separator rotativ de înaltă tensiune cu trei izolatoare.

141. **Construcţii speciale pentru tensiuni peste 35 kV.** La tensiunile mai înalte (peste 35 kV) şi la execuţi de exterior se întrebuinţează o altă formă constructivă a separatoarelor, la care cuţitul este fixat pe izolatorul mijlociu, care, pentru a separa circuitul, se roteşte în jurul axei sale de simetrie. Se realizează astfel două întreruperi (fig. 192), fiecare dintre ele realizînd numai jumătate din distanţa de conturnare necesară între capetele cuţitului şi furcile de contacte.

Separatoarele care se montează la sosirea liniilor şi a cablurilor în staţii se echipează deobicei cu cuţite de punere la pămînt, pentru a pune linia la pămînt după separarea ei de sursa de tensiune. Aceasta, întrucît liniile pot să aibă sarcini statice importante, care periclitează siguranţa personalului de întreţinere.

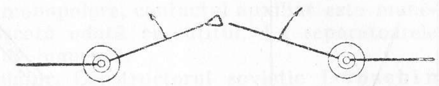


Fig. 193. — Schema unui separator rotativ cu două izolatoare.

Izolatorul mijlociu al tipului precedent se poate suprima dacă izolatoarele marginale sînt ambele rotative (fig. 193). Acest tip de separatoare se deschide uşor, iar la închideri permite alunecarea suprafeţelor de contact, pentru a le curăţi de oxizi, de chiciură etc.

Fig. 194 şi 195 reprezintă separatoare de exterior de 35, respectiv 110 kV, la care mişcarea de rotaţie a izolatorului mijlociu determină mai întîi rotirea cuţitului în contact şi apoi deschiderea în plan vertical.

Există un tip recent de separatoare de înaltă tensiune cu un singur izolator, la care cuţitul este înlocuit cu un pantograf, fixat de capul izolatorului şi care se îmbină cu o bară sau cu un fir de linie curentă, protejat cu o înfăşurare de sîrmă suplimentară. Asupra acestui tip de izolatoare încă nu se dispune de suficientă experienţă în exploatare. Cu toate acestea, el pare să fie cel mai indicat la tensiuni foarte înalte (de exemplu, 400 kV).

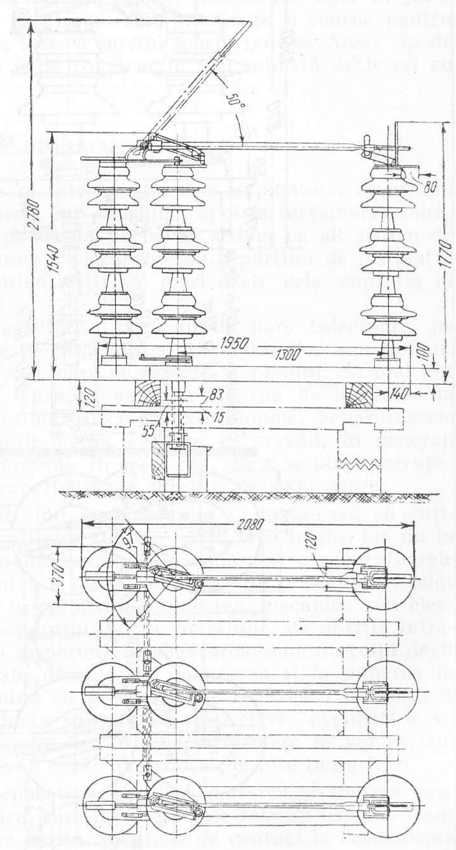


Fig. 194. — Separator sovietic tip RIN 110, de 110 kV pentru montaj exterior.

142. **Acţionarea separatoarelor** se poate face manual sau prin servomotor. Pînă la tensiuni de circa 35 kV se pot utiliza prăjini izolante cu care se deschid separatoarele monopolare, trăgînd de inelele fixate pe cuţite sau de manivela axului de manevră, fixat pe cadrul separatoarelor trifazate. În instalaţii mai importante se preferă totuşi separatoarele tripolare manevrate prin mecanisme din faţa celulei respective. Antrenarea prin servomotor electric sau cu aer comprimat se recomandă în instalaţii care dispun de aer comprimat şi pentru alte scopuri (la întreruptoare) sau la instalaţii cu intensităţi nominale mari. Servomotorul atacă, în general, un şurub fără fine.

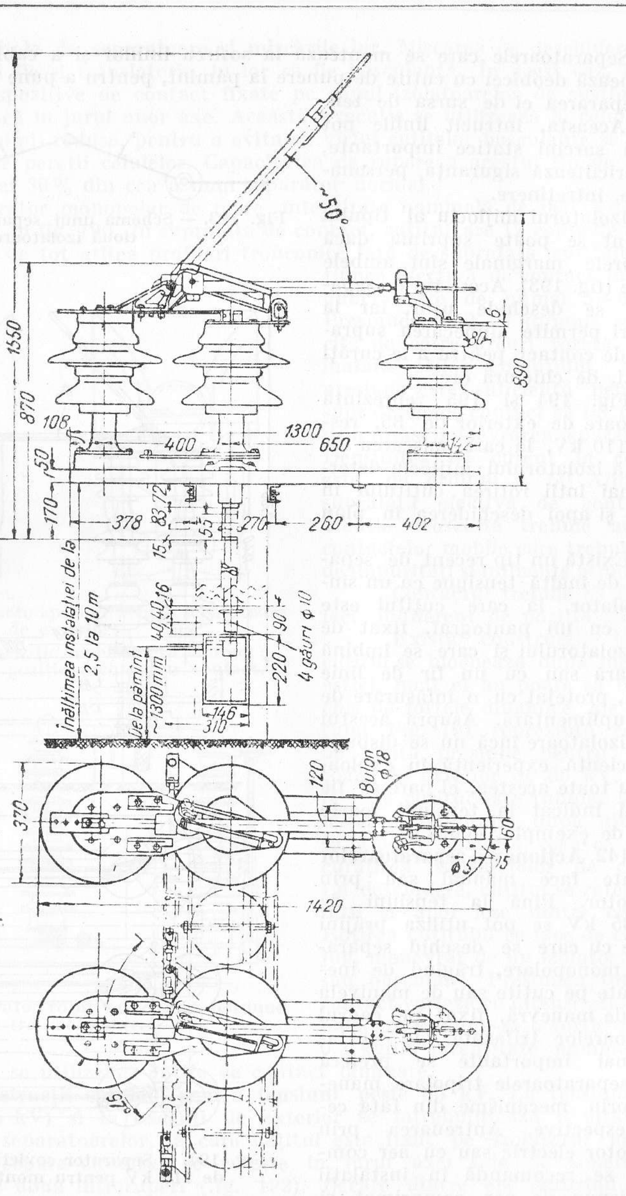


Fig. 195. — Separator sovietic de 35 kV, pentru montaj exterior.

143. Contacte auxiliare. Pentru semnalizarea poziției separatoarelor (închis sau deschis) se pevede un număr suficient de contacte auxiliare. Există contacte de deschidere și de închidere; primele sînt deschise, ultimele închise, cînd separatorul este închis. La separatoarele monopolare, contactul auxiliar este manevrat de o pîrghie de material izolant, mișcată odată cu cuțitul. La separatoarele tripolare, contactele se dispun pe axul de manevră.

144. Separatoare cu un singur izolator. Constructorul sovietic Dvoschin a prezentat un tip de separator de înaltă tensiune de exterior, cu un singur izolator, la care cuțitul în formă de bară rotundă este în poziție verticală, în stare închisă, contactul superior fiind fixat direct de bare. La deschidere, cuțitul este întîi rotit în contactul superior, pentru a preveni înțepenirea, și basculează apoi în jurul contactul mobil inferior. Pe contactele superioare sînt prevăzute și coarne pentru puperea de curenți capacitivi ai liniilor, sau de sarcini foarte reduse. Acest tip de separator cu un singur izolator pare a fi de construcție mai robustă decît cel cu pantograf.

f) Moduri de utilizare, avarii

145. Generalități. Separatoarele se întrebuințează în exploatare, în primul rind, pentru izolarea instalațiilor de barele sub tensiune, apoi la secționarea barelor sau a circuitelor, la transformarea plecărilor de pe un sistem pe alt sistem de bare și, în sfîrșit, la încercarea cu tensiune a plecărilor sau a părților de instalații. Prin separatoare nu se pot întrerupe intensități mai mari decît cele cuprinse în tabela 27.

Separatoarele se montează între diferite porțiuni de bare colectoare, pe toate plecările de pe aceleași bare și pe plecările din stații a fiderilor sau liniilor. Pentru acestea din urmă se prevăd separatoare cu punere la pămînt. Se mai pot monta separatoare și pe, sau chiar în transformatoare cu borne de încercare la tensiune; astfel de dispoziții se pot considera însă ca excepționale. Separatoarele de exterior care secționează linii aeriene de medie tensiune, se prevăd, în general, cu coarne; pentru întinderea și ruperea arcului. În acest caz, cu ei se pot întrerupe, în anumite limite, date în general de experiență, și curenții de exploatare.

146. Reguli de montaj. În cazul cînd separatoarele se instalează cu cuțitele într-un plan vertical, deschiderea cuțitelor trebuie să se facă în jos, iar nu în sus. La instalații cu curenți de scurtcircuit mare, se recomandă ca separatoarele să fie blocate în poziția lor închisă, pentru a nu se deschide sub influența forțelor dinamice ale curentului. De asemenea se recomandă blocarea mecanică sau electrică a dispozitivului de manevrare a separatorului în funcțiune, de poziția întreruptorului respectiv, în sensul de a nu se permite manevrarea separatorului decît atunci cînd întreruptorul respectiv este deschis. La montarea și la punerea în funcțiune a separatoarelor, se va examina cu grijă dacă se realizează un contact suficient de bun. La nevoie, se vor ajusta suprafețele respective, eventual se va asigura o presiune de contact mai mare. La lucrările de întreținere se vor revizui contactele și mecanismele mobile și se vor curăți de praf și de alte impurități.

147. Deteriorările posibile ale separatoarelor sînt perlarea și topirea contactelor de către arcuri și scintei electrice, care nu sînt stinse într-un timp suficent de scurt. Arcurile care se formează între cuțite și furcile de contact la deschiderea unui separator în sarcină se propagă, deobicei, la celelalte faze, producîndu-se scurtcircuite grave, care duc, de cele mai multe ori, la distrugerea părților conductoare și, mai ales, a izolatoarelor de susținere ale separatorului. Astfel de separatoare distruse se pot recondiționa prin înlocuirea și punerea în ordine a contactelor și prin înlocuirea izolatoarelor-suporți deteriorate.

148. **Separatoare de punere la pămînt.** Pentru a putea lucra la linii și la instalații în stații care au fost scoase de sub tensiune, acestea trebuie să fie scurtcircuitate și puse la pămînt, conform prescripțiilor. Pentru a evita punerea la pămînt a liniilor și a instalațiilor respective prin cleme și sîrme, se întrebuințează separatoare de punere la pămînt, care se combină, de multe ori, cu separatoarele de linie. Se recomandă ca separatoarele de punere la pămînt să se poată bloca în poziția lor, pentru a evita o manevră accidentală sau necorespunzătoare, ca de exemplu o punere la pămînt a unor instalații sub tensiune.

Q. Întreruptoare de înaltă tensiune

a) Generalități

149. **Principii constructive.** Întreruptoarele utilizate la început erau de tipul cu pîrghie și cu cuțite de contact care intrau în furci. Odată cu creșterea curenților și a tensiunilor de exploatare, s-a constatat însă că arcurile permanente, formate la rupere, deteriorează sau distrug contactele, scoțînd din uz întreruptorul. În consecință, s-au construit întreruptoare cu deschidere rapidă, manevrate prin greutăți sau arcuri, care reduc timpul de ardere al arcului și efectele lui.

Montînd întreruptorul cu cuțitul vertical și deschiderea orizontală, curenții de aer încălziți de arc, tindeau să deplaseze arcul în sus, îndepărtîndu-l de întreruptor. Afară de faptul lungirii arcului din această cauză, stingerea era accelerată și ușurată concomitent, prin efectul magnetic al curentului din arc, care tindea să lărgească și mai mult bucla formată de arc. S-au adăugat apoi contacte auxiliare, de stingere, care se deschideau după contactele principale, ferindu-le de efectele arcului. Contactele de stingere se confecționeau, deobicei, din cărbune grafitat, mai rar din wolfram, care rezistă mai mult efectelor arcului decît cuprul sau alte metale întrebuințate la contacte.

S-au mai desvoltat contactele de tip perie, confecționate din lame de cupru laminate, apăsate de arcuri de bronz sau tombac. Avantajul principal al contactului perie constă în acțiunea de frecare elastică a contrapiesei de contact în timpul închiderii, ceea ce curăță contactele de oxizi și de impurități. Contactul se stabilește în puncte dispersate, reducîndu-se rezistența de contact și de încălzire. Mai tîrziu s-au adăugat bariere refractare care limitau arcul și evitau trecerea lui asupra altor părți sub tensiune. Apoi, aceste bariere s-au adus mai aproape de arc, formînd *șicane*, care lungesc, răcesc și *desionizează* arcul, contribuind la stingerea lui. S-au aplicat apoi bobine de suflaj magnetic al arcului, confecționate din plăci de fier moale, situate în exteriorul barierelor de arc și excitate de bobine parcurse, în serie, de curentul care trece prin contactele auxiliare. Aci curentul produce un cîmp magnetic ce forțează arcul să intre în șicane, să se lungească și să se stingă mai repede.

Contactele auxiliare prelungite sub formă de *coarne* divergente forțează arcul, care se deplasează în direcție verticală, să se lungească rapid și să formeze o buclă, care se lărgește și mai departe.

În construcțiile moderne de întreruptoare de curent continuu și de cele de curent alternativ de joasă tensiune se aplică diferite variante și combinații ale acestor mijloace de stingere a arcului în aer.

150. **În curenți alternativi,** s-a trecut curînd la cufundarea contactelor într-o cuvă cu ulei mineral. Calitățile de bun izolant ale uleiului și gazele desvoltate de arcul sub ulei s-au dovedit eficace la stingerea arcului și la evitarea reaprinderii lui după trecerea curentului prin valoarea zero. Întreruptoarele cu capacități de rupere a unor arcuri din ce în ce mai puternice s-au desvoltat mărind

înălțimea uleiului deasupra contactului, cursa contactelor, viteza de deplasare a lor, distanțele de conturnare, întărind cuva de ulei și îmbunătățind izolația.

Un dezavantaj al acestor întreruptoare a căror construcție a ajuns la soluții bine stabilite și încercate,îl constituie prezența unor cantități mari de ulei în apropierea arcului, ceea ce, în cazuri de explozii ale întreruptorului, poate duce la incendii și la accidente grave, urmate de acoperirea cu funingine a izolatoarelor instalației, și care trebuie înlăturată înainte de repunerea instalației în serviciu. S-a încercat deci de mult să se restrîngă rolul uleiului numai la stingerea arcului, izolația între faze fiind preluată de un alt izolant, fapt prin care se reduce mult cantitatea de ulei necesară.

151. **Diferite modificări ale formei și ale construcției contactelor.** Acestea s-au încercat pentru a preveni arderea și perlarea contactelor, cît și pentru a se obține o mai rapidă stingere a arcului. Comportarea și mișcarea arbitrară a bulei de gaze ce se formează sub ulei, în jurul arcului, se controlează și se restrînge prin dispozitive de stingere speciale (camere de explozie și curenți de ulei dirijați).

Aceste dispozitive limitează presiunea produsă de arc la un spațiu redus, utilizîndu-se o dirijare de ulei proaspăt sau de gaze, de-a lungul sau de-a curmezișul arcului, pentru a-l stinge mai repede și a-i reduce lungimea și durata. Cuvele se fac etanșe, dar se prevăd deschideri de siguranță, ca separatoare, pentru a evita aruncarea uleiului în exterior. Mecanismul de deschidere a fost îmbunătățit în sensul de a evita reînchiderea sub forțele presiunii interioare produse. La întreruptoare moderne se pot utiliza uleiurile obișnuite de transformatoare.

b) Constucții noi de întreruptoare cu putere de rupere (întreruptoare de putere)

152. **Scurt istoric.** Puterile și tensiunile din rețele mari electrice crescînd în mod continuu, solicitările întreruptoarelor au devenit din ce în ce mai mari. A fost nevoie de o lungă serie de cercetări sistematice, pînă s-au descoperit elementele de bază privind întreruperea de scurtcircuite alimentate de surse puternice. S-a studiat influența vitezei contactelor, a deschiderii lor, a păturii de aer din întreruptoare, a numărului întreruperilor pe fiecare fază. Cu timpul, s-au găsit mijloace speciale pentru stingerea mai rapidă a arcului, ca proiectarea de ulei rece pe arc și camere de explozie în întreruptoare cu ulei, care, prin ridicarea presiunii gazelor obținute, pînă la 100 at, accelerau stingerea lui.

Prin anul 1926 a intervenit o schimbare radicală în construcția întreruptoarelor de putere, prin descoperirea că întreruperea depinde de desionizarea cît mai rapidă a zonei arcului și de solicitarea spațiului respectiv de către tensiunea de revenire. Stingerea arcului poate să aibă loc nu numai sub ulei, ci și în apă și alte lichide, sau prin suflarea energică a arcului de către curenți puternici de aer comprimat sau cîmpuri magnetice.

Pentru a nu se introduce cantități mari de ulei în instalație, s-au desvoltat întreruptoare cu ulei puțin și cu alte mijloace de stingere a arcului, anume, apa și aerul (tabela 32). La deschiderea contactelor, arcul evaporează apa, iar vaporii, după ce produc o presiune înaltă, defavorabilă ionizării, se destind (expansiune) agitînd și răcind arcul, pînă se stinge. La întreruptoarele cu aer comprimat (pneumatice), un curent puternic de aer comprimat se proiectează asupra arcului, forțîndu-l în șicane, unde este răcit și stins. Aceste construcții noi s-au desvoltat în țările europene și au fost preluate tîrziu de tehnica americană, care a persistat mai mult în construcția de întreruptoare cu ulei mult. Mai tîrziu, s-a adeverit că drumul urmat de constructorii europeni a fost mai just, deoarece întreruptoarele cu ulei mult nu mai pot fi construite pentru cele mai mari tensiuni și puteri, unde pare că numai cel cu aer comprimat se va menține.

Tabela 32. Ulei, apă și expansină ca substanțe de stingere a arcului

Nr. crt.	Proprietatea	Ulei $C_n H_{2n+2}$ ($n=20-30$)	Apă H_2O	Expansină $H_2O+C_2H_2(OH)_2$
1	Punctul de congelare °C	−40 −50	0	−5 −90
2	Mărirea viscozității sub 0°C	pronunțată		*redusă*
3	Punct de fierbere °C	~ 300	100	100
4	Punct de inflamare °C	160	*nu are*	*nu are*
5	Inflamabilitatea aburilor și picăturilor	foarte inflamabile	*neinflamabile*	*neinflamabile*
6	Depuneri de fum	mari	*nu are*	*nu are*
7	Conductibilitate electrică	~ 0	apreciabilă	redusă
8	Tensiune de străpungere kV/cm	45	foarte joasă	redusă
9	Supratensiunea la scoaterea de sub tensiune a transformatoarelor în gol	apreciabilă	nu apare	*foarte redusă*
10	Coroziune	*nu produce*	produce	redusă
11	Influență asupra contactelor	saponifice	*dexoxidantă*	*desoxidantă*
12	Forță capilară	redusă	*mare*	apreciabilă
13	Cantitatea de gaze în cm^3/kWs	8...150	0...5	10...30
14	Natura gazelor disociate	$H_2+C_mH_n$	H_2+O_2	$H_2+O_2CH_4+CO$

Observație. Proprietățile evidențiate *cursiv sînt favorabile.*

153. **Condițiile principale** impuse unui întreruptor sînt rezistența termică la curenții de exploatare normală (v. GOST BKTF 8555/1472) și întreruperea cît mai rapidă a curenților de scurtcircuit, fără avarii și fără defectări permanente la contacte.

Datele caracteristice principale pentru dimensionarea întreruptoarelor sînt: tensiunea nominală, tensiunea maximă, intensitatea nominală și maximă suportată permanent, puterea maximă de rupere, intensitatea maximă instantanee și cea suportată timp de 5 s. Scara intensităților nominale este: 200, 400, 600, 1 000, 2 000, 4 000 6 000 A.

154. **Puterea de rupere,** în MVA, este produsul dintre tensiunea nominală și intensitatea maximă care se poate întrerupe la anumite intervale de timp și cu o cadență determinată de prescripții. Puteri de rupere normale sînt: 100, 200, 400, 600, 1000, 1 500 și 2 500 MVA.

Valoarea curentului este cea eficace din prima semiperioadă de arc înainte de deschiderea contactelor. La scurtcircuite trifazate în sisteme trifazate, aceasta înseamnă că faza care se întrerupe întîi are de preluat, în cel mai rău caz, jumătate din această putere, pe celelalte două repartizîndu-se în mod egal cealaltă jumătate. La puteri de rupere egale, întreruptorul este solicitat la scurtcircuit bifazat cu un curent de trei ori mai mare, sau puterea de rupere bifazată este mai mică decît cea trifazată.

Puterea de rupere a unui întreruptor scade liniar cu tensiunea de exploatare, deoarece curentul de rupere nu poate depăși o limită superioară.

155. **Ciclul de încercare normal** este format din două deschideri la 15 min interval, pentru întreruptoarele în cuvă de ulei și la două ore interval pentru celelalte întreruptoare. Prescripțiile cer, în general, ca un întreruptor în ulei să funcționeze la sau aproape de capacitatea de rupere, fără a emite flăcări. De asemenea, mai cer ca după orice rupere în limita capacității nominale, întreruptorul să fie,

practic, în aceeași condiție mecanică, ca și înainte, pentru ca să suporte tensiunea și intensitatea nominală, fără deteriorări permanente și fără încălziri peste limitele fixate. Se admite totuși ca, după întreruperi la sau aproape de puterea de rupere nominală, întreruptorul să aibă o putere de rupere mai redusă. Totodată, el se poate inspecta sau revizui, dacă aceasta este necesar.

Amplitudinea *intensității instantanee maxime* nu trebuie să fie depășită, în nici un caz și nici un moment, nici chiar în prima semiperioadă la scurtcircuite și presupunînd o asimetrie maximă a intensității.

Performanța la scurtcircuite este determinată de intensitatea maximă de scurtcircuit, pe care mașinile sincrone legate la un sistem electric o pot trece prin întreruptor, în momentul deschiderii contactelor, la un scurtcircuit metalic imediat în aval. Curentul de scurtcircuit se calculează din caracteristicile mașinilor sincrone, interconectate, în momentul scurtcircuitului, cu impedanța circuitelor între aceste mașini și locul scurtcircuitului și ținînd seamă de timpul care trece de la producerea lui pînă la deschiderea contactelor. La calculele de scurtcircuit în rețelele de curent alternativ de înaltă tensiune este suficient să se ia în considerație numai reactanța mașinilor, a aparatelor și a circuitelor, pe cînd la rețelele de joasă tensiune, trebuie luate, uneori, în considerație și rezistențele ohmice. În circuite de curent continuu se ține seamă numai de rezistențe.

Pentru calcule aproximative se pot utiliza reactanțele și curbele de decremente tip ale mașinilor sincrone. Pentru calcule mai exacte, se introduc reactanțele și caracteristicile reale ale mașinilor, calculîndu-se și curenții de scurtcircuit monofazat, afară de cel trifazat. Metoda de calcul a impedanțelor « pe unitate » și a « tensiunilor interne », utilizînd componente simetrice, se poate aplica la calcule și mai exacte. Modelele de rețea de curent continuu sau alternativ ușurează mult calculul scurtcircuitelor în rețelele complicate, după ce, în prealabil, li se aplică simplificările cele mai necesare.

156. **Panta tensiunii de revenire** influențează sarcina impusă întreruptoarelor. Dacă la deschiderea unui circuit de curent alternativ tensiunea de revenire depășește, în orice moment după trecerea curentului prin zero, tensiunea de străpungere a spațiului dintre contactele care se îndepărtează, arcul se va reaprinde și va continua să ardă pînă la următoarea trecere a curentului prin zero, cînd întreruperea se va încerca din nou. Panta tensiunii de revenire este în funcție de caracteristicile circuitelor care alimentează prin acel întreruptor scurtcircuitul. Ea va fi cu atît mai mică, cu cît capacitatea la pămînt, situată după impedanța cea mai mare care limitează curentul de scurtcircuit, este mai mare. Anumite întreruptoare modifică radical caracteristicile tensiunii de revenire, limitînd curentul, modificînd factorul de putere etc.

Pentru tensiunile de revenire, panta în $V/\mu s$ se calculează din formula:

$$U = K \, . \, I\omega Z_r \, 10^{-6} \, ,$$

unde K este o constantă aproape de unitate, depinzînd de natura defectului;

I — intensitatea curentului de întrerupt, în A;

ω = $2\pi f$, unde f este frecvența sistemului, în Hz;

Z_r — impedanța de revenire a circuitului, în Ω.

Pentru circuite cu o singură frecvență proprie:

$$Z_r = \sqrt{L/C},$$

unde L este inductanța care limitează curentul în defect, iar C, capacitatea la pămînt între inductanță și întreruptor. Z_r se mai poate exprima, $X_l \, X_c$. Impedanța de revenire a unei linii de transmisie lungi este identică cu impedanța caracteristică, fiind cuprinsă între 300 și 500 Ω.

Valorile de 50—500 kV/μs ale pantei tensiunii de revenire se consideră înalte, 2 000 V/μs medii, 200—500 V/μs joase.

157. **Închiderea pe scurtcircuit** a întreruptorului reprezintă o solicitare foarte mare. După deschiderea unui întreruptor automat din cauza unei defectări în instalaţii, deobicei se încearcă repunerea sub tensiune a acelei instalaţii. Întreruptorul trebuie să reziste tuturor solicitărilor care apar în cazul închiderii lui pe un scurtcircuit, care, la rîndul său, se alimentează din toate generatoarele interconectate pe circuitul respectiv. Cele mai importante sînt, în acest caz, efectele dinamice ale curentului de vîrf, care apare imediat după primele momente ale închiderii contactelor, în funcţie de defazarea acestui curent faţă de amplitudinea tensiunii.

Dacă în urma dispoziţiei şi a construcţiei întreruptorului, la închiderea lui contactele se află într-o buclă a căilor de curent, intervin imediat forţe electrodinamice, care caută să desprindă contactele. Acest efect se accentuează de către curenţii care trec prin însăşi piesele de contact, dacă nu se iau măsuri pentru a elimina acest efect printr-o construcţie adecuată a contactelor.

Forţele electrodinamice variind proporţional cu intensitatea curentului, contactele pot să intre în vibraţie înainte de a se închide definitiv, şi prin aceasta se pot suda şi deteriora.

La dimensionarea mecanismelor de acţionare se va ţine seamă de aceste eforturi electrodinamice, pentru ca închiderea întreruptorului să se facă în bune condiţii chiar şi în scurtcircuit.

Contactele solenoidale sau de construcţii speciale (v. punctul *B*, fig. 17 şi 18) pot să micşoreze aceste eforturi electrodinamice, ele atrăgîndu-se îndată ce, printr-o primă atingere superficială, un curent trece prin ambele piese.

c) Desfăşurarea în timp a fenomenelor de întrerupere

158. **Timpul de funcţionare a întreruptoarelor** se subîmparte în felul următor:

— timpul de declanşare a declanşatoarelor şi al releelor, de la apariţia supra-curentului şi pînă la liberarea zăvorîrii întreruptorului;

— timpul propriu al întreruptorului, de la liberarea zăvorîrii şi pînă la separarea contactelor;

— durata arcului, pînă la stingerea lui.

Viteza întreruptoarelor moderne a crescut mult, astfel încît de la darea comenzii de deschidere şi pînă la ruperea arcului nu trec mai mult de 10 perioade. Acest timp se mai poate reduce, în cazul unor cerinţe speciale.

159. **Reanclanşarea rapidă** a întreruptoarelor legate pe linii electrice aeriene se prevede pentru a restabili serviciul normal după declanşarea întreruptorului, datorită supratensiunilor atmosferice sau altor defectări trecătoare. Se prevăd relee de timp speciale pentru a preveni repetarea reînchiderii, mai mult de 1—3 ori. Este de observat că aceste ruperi repetate pot să solicite întreruptorul mai mult decît încercările prevăzute de prescripţii, astfel încît o reconsiderare a puterii de rupere şi a scurtcircuitului maxim se impune în astfel de cazuri pentru a evita avarii la întreruptoare.

În locul întreruptoarelor cu reanclanşare rapidă se utilizează, în circuite de mică importanţă, siguranţe multiple, care se introduc în mod automat în circuit. Reînchiderea rapidă nu este recomandabilă la linii de interconexiune între centrale, pentru a nu se periclita sincronismul în mersul în paralel al acestora. În acest scop, s-a încercat cu succes, mai ales pe linii importante, întreruperea şi reînchiderea rapidă pe o singură fază, datorită faptului că majoritatea (peste 70 %) defectărilor pe linii aeriene sînt trecătoare, monofazate. În cazul cînd, după în-

cercări de reînchidere repetate, defectarea se menţine totuşi, se comandă declanşarea definitivă pe toate fazele.

d) Întreruptoarele de înaltă tensiune cu ulei mult

160. **Generalităţi.** La tensiuni alternative de peste 500 V, întreruptorul cu ulei mult a fost întrebuinţat exclusiv pînă prin anul 1926. Numai pentru pornirea şi oprirea unor motoare racordate direct la tensiuni de 6 kV se aplică uneori contactoare *cu rupere în aer*, în serie cu un întreruptor cu ulei mult.

Există două feluri de construcţie şi anume: cu cuvă sub tensiune şi cu cuvă fără tensiune (pusă la pămînt); ultimele se construiesc pentru orice tensiune şi la orice putere normală, în timp ce întreruptoarele cu cuvă sub tensiune se construiesc numai pînă la 35 kV.

161. **Întreruptoarele în cuvă de ulei pusă la pămînt** au bornele principale scoase prin capacul cuvei, cu ajutorul unor izolatoare de trecere de porţelan sau din mase presate. Contactele din interior, fixate de capetele izolatoarelor de trecere, sînt scurtcircuitate de o punte conductoare fixată pe o traversă izolantă, care este mişcată vertical, de către o bielă şi o manivelă.

Mecanismul de ridicare era înainte metalic, iar izolaţia, realizată deobicei prin izolatoare de trecere, se dispunea orizontal, în corpul traversei. Recunoscîndu-se defectuozitatea acestei dispoziţii orizontale, în construcţiile moderne s-a trecut exclusiv la traverse pur metalice, izolaţia dispunîndu-se vertical, în mecanismul de ridicare, intercalîndu-se în acestea tije de lemn sau de materiale izolante solide, cu suficientă rezistenţă mecanică. Astfel a fost posibilă ridicarea nivelului de ulei mult deasupra contactelor. În construcţiile mai vechi, traversa cade, la declanşare, sub acţiunea greutăţii ei, în timp ce la cele moderne deschiderea este accelerată de arcuri puternice. Există şi construcţii la care traversa este rotită pentru a deschide contactele. De cele mai multe ori, prin puntea conductoare se obţin două locuri de rupere de fiecare fază (fig. 196); uneori însă numărul locurilor de rupere se măreşte la patru, şase sau chiar mai mult, prin construcţii speciale ale punţii şi ale traversei, reducîndu-se astfel cursa traversei.

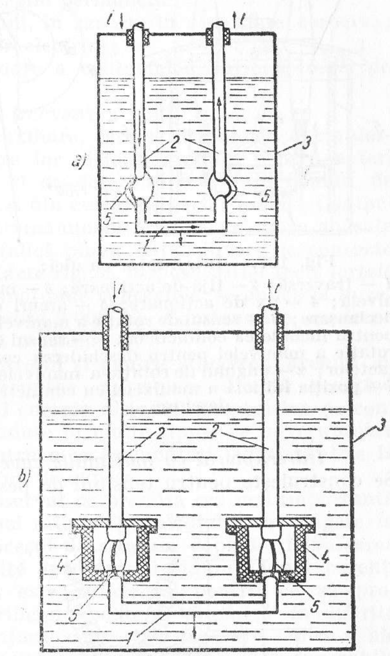


Fig. 196. — Construcţia principală a unui întreruptor:

a—întreruptor cu stingere simplă a arcului sub ulei şi cu dublă întrerupere; *b*—întreruptor cu ulei cu camere simple de stingere şi dublă întrerupere; *i* — curentul; *1* — contactul mobil; *2* — contacte fixe; *3* — cuvă; *4* — camere de stingere; *5* — arc electric.

La modele vechi de întreruptoare, cuvele se construiau cu secţiune pătrată. În schimb, la modelele noi s-a trecut la cuve rotunde sudate, mult mai rezistente la presiunile $p > 6$ ata, care apar în interior la scurtcircuite puternice (v. fig. 200). Pereţii interiori ai cuvei sînt izolaţi suplimentar cu plăci de hîrtie presată.

162. **Cuva etanşă de ulei** este caracteristică pentru construcţiile moderne de întreruptoare. În mod special, se prevede, în capacul ei, o ţeavă de eşapare a gazelor, pe care se montează un separator de ulei, pentru a se evita eliminarea uleiului în exterior.

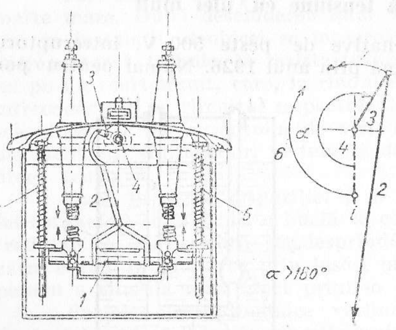


Fig. 197. — Întreruptor cu ulei:
1 — traversă; 2 — tijă de acţionare; 3 — manivelă; 4 — ax de acţionare; 5 — arcuri de declanşare; 6 — sensul de rotaţie a manivelei pentru închiderea contactelor; 7 — sensul de rotaţie a manivelei pentru deschiderea contactelor; α — unghiul de rotaţie a manivelei; i — poziţia iniţială a manivelei cu contactele deschise.

Capacul cuvei se dimensionează larg, pentru a putea prelua eforturile dinamice. Pe el se montează şi mecanismele de acţionare a întreruptorului. Izolatoarele de trecere se înclină de obicei înspre exterior, deoarece distanţele de străpungere sub ulei sînt mai mici decît în aer. Fixarea se poate face încastrînd capacul în pardoseala staţiei, sau montîndu-se întreg întreruptorul pe un stativ metalic cu roţi.

Aceste amănunte dau aspectul caracteristic al întreruptoarelor de putere în ulei mult (fig. 197).

În general, aceste întreruptoare se prezintă sub două forme:

Intreruptorul cu o cuvă, care cuprinde cele trei faze şi reprezintă tipul utilizat în general pînă la 15 kV şi puteri sub 500 MVA. Fazele sînt despărţire în interior cu plăci de fibră sau alte mase presate izolante.

Întreruptorul cu mai multe cuve, avînd fiecare fază în cîte o cuvă separată. Se construieşte pentru tensiuni de peste 15 kV şi puteri care depăşesc 300 MVA

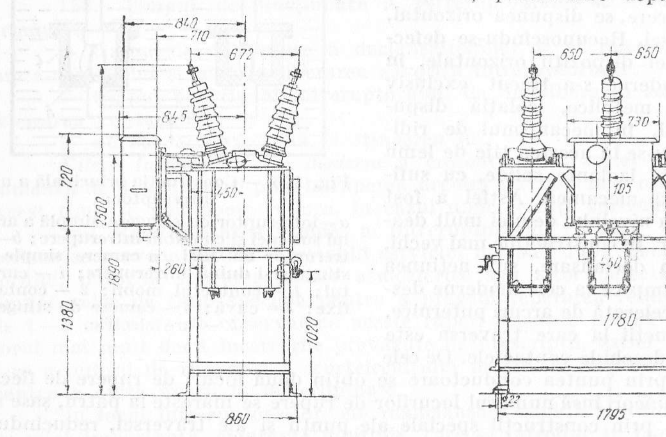


Fig. 198. — Întreruptor sovietic de exterior cu trei cuve separate tip VM 35, cu comandă electromagnetică SPS 10.

şi, în general, pentru staţii de exterior. Este necesar la staţiile de exterior sau la cele cu « faze izolate ».

Fig. 198 reprezintă întreruptorul sovietic VM 35, de exterior, cu trei cuve separate, montat pe un stativ, împreună cu un dispozitiv special de manevrare pe cale electromagnetică.

163. **Construcţia contactelor** la întreruptoarele cu ulei mult a fost substanţial îmbunătăţită pentru a corecta comportarea întreruptoarelor şi pentru a mări puterea lor de rupere.

Performanţele care se cer contactelor electrice în întreruptoare sînt:
— rezistenţă de contact constantă în regim permanent;
— rezistenţă faţă de oxidări şi coroziuni, în aer sau în atmosfere corozive;
— rezistenţă faţă de efectele arcurilor electrice;
— rezistenţă faţă de tendinţa de sudare a contactelor (întreruptoare de putere);
— uzură redusă (mai ales la conectări frecvente).

Se prevăd, în mod general, contacte auxiliare, care se deschid în urma deschiderii contactelor principale şi reiau asupra lor piciorul arcului, pentru a feri suprafeţele contactelor principale de perlări şi de deteriorări. Un tip comun de contact este compus din furci, pe partea fixă, şi din cuţite pe partea mobilă. Contactele laminate sau de tip perie constau dintr-un mănunchi de lame de cupru apăsate de arcuri făcînd contact pe o suprafaţă metalică plană. Tipul invers de contacte cu periile pe contactul fix şi o punte cu contacte rigide, dispusă astfel încît forţele electromagnetice ale curentului să strîngă şi mai bine contactele, se aplică la întreruptoare cu intensităţi nominale mai mari (peste 2 000 A). Construcţiile moderne prevăd contacte masive sau liniare de înaltă presiune.

164. **Construcţiile speciale pentru controlul şi pentru stingerea arcului** au înlocuit, în ultimele decenii, tipul de întreruptor cu rupere directă, scurtînd lungimea şi durata arcului şi micşorînd astfel energia disipată. Dispozitive de conducere şi de limitare a arcului au fost introduse în multe tipuri de întreruptoare aflate în serviciu, avînd rupere directă, pentru a le îmbunătăţi performanţele la sarcina nominală sau pentru a le mări puterea de rupere.

Pe baza cunoştinţelor teoretice, s-a observat că premisa cea mai importantă pentru stingerea arcului este o dirijare cît mai raţională a mediului de stingere în jurul arcului. La întreruptoarele în care procesul de stingere depinde de valoarea curentului trebuie acordată o grijă deosebită întreruperii sigure a unor curenţi mici, a căror energie, de multe ori, nu este suficientă pentru ca să producă stingerea arcului. Aplicarea acestui principiu poate fi urmărită în diferite construcţii. *In camera de stingere* care înconjură contactele fixe, tip « lalea », ale unui întreruptor cu ulei mult, presiunea înaltă care se produce este favorabilă desionizării rapide a coloanei şi accelerează mişcarea tijei de contact. Cînd aceasta părăseşte deschiderea inferioară a camerei, o cantitate de gaze calde şi de ulei sînt împinse, cu presiune mare, în jurul tijei, spălînd în mod eficace piciorul şi coloana arcului, pînă la stingerea lui (v. fig. 196, *b*).

165. **Camera de explozie** reprezentată în fig. 199 funcţionează în felul următor: arcul care se formează la deschiderea contactelor, evaporează uleiul, producînd prin gazele care apar o presiune mare (pînă la 100 at) în interiorul camerei. Uleiul este ejectat prin orificiul părăsit de tija contactului mobil asupra arcului, şi, în acelaşi timp, comprimă gazele, mărindu-le rezistenţa dielectrică. Presiunea din cameră accelerează mişcarea contactului mobil, scurtînd prin aceasta durata întreruperii. Pereţii camerei, preluînd efortul din presiunea produsă de arc, degajează în schimb cuva de eforturi prea mari. Toate aceste eforturi tind să reducă durata de ardere a arcului şi să micşoreze cantitatea de gaze produse. Un întreruptor de acest fel este reprezentat în fig. 200.

166. **Dispozitivele de mişcare forţată a uleiului** se execută în diferite variante, de mulţi constructori, mai ales la tensiuni sub 20 kV, unde camera de explozie

nu este economică. La întreruptoare cu ulei mult de înaltă tensiune, o cameră metalică sau izolantă de explusie a uleiului se fixează pe capetele inferioare ale izolatoarelor a cărei construcție se vede în fig. 201. Această cameră conține un contact masiv superior, un contact auxiliar basculant și o tijă de contact mobilă, de forma unei țevi. La deschiderea întreruptorului, contactul intermediar este împins în jos de un resort, și un arc apare între el și contactul fix superior. Acest arc produce, în camera superioară, gaze sub presiune, care forțează trecerea unui curent de ulei prin camera inferioară, în tija găurită, împiedicînd reaprinderea arcului după o trecere prin zero a curentului. La întreruptoarele mai mici, cuva de ulei se subîmparte în două compartimente care comunică printr-o deschidere care se află în dreptul contactelor (fig. 202). Gazele sub presiune formate forțează uleiul să treacă pe lîngă arc, în compartimentul alăturat, stingînd arcul.

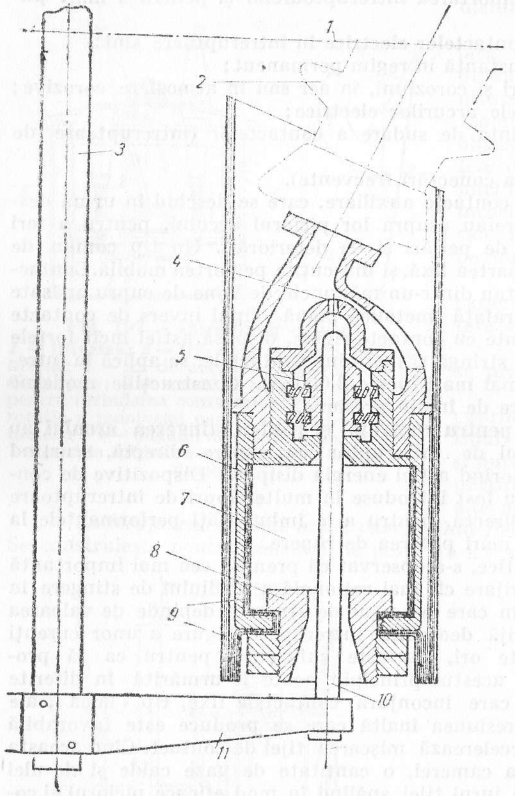


Fig. 199. — Secțiune printr-o cameră de explozie: 1 — nivel de ulei; 2 — izolator; 3 — tija traversei; 4 — supapă de evacuare; 5 — contact fix; 6 — pereții camerei de stingere; 7 — camera de stingere; 8 — ajutaj; 9 — pereți izolanți; 10 — tija contactului mobil; 11 — traversă.

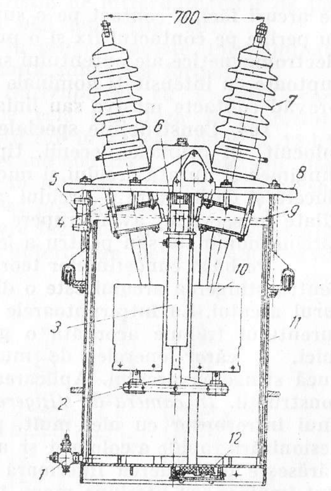


Fig. 200. — Secțiune prin corpul unui întreruptor sovietic cu camere de stingere sub ulei: 1 — robinet de golire; 2 — traversă; 3 — tijă de acționare a traversei; 4 — transformator de intensitate; 5 — sticlă de nivel; 6 — mecanism de acționare; 7 — izolator de trecere; 8 — capac; 9 — nivel de ulei; 10 — cameră de stingere. 11 — cuvă; 12 — fund.

Dispozitivele numite camere de « rupere » sau de expulsie se utilizează de alți constructori, toate fiind însă bazate pe principiul general de a se utiliza presiunea gazelor generate de arc, la forțarea mișcării unor mase de ulei proaspăt, de-a lungul sau deacurmezișul arcului, ceea ce împiedică reaprinderea lui, după o trecere prin zero a curentului (fig. 203).

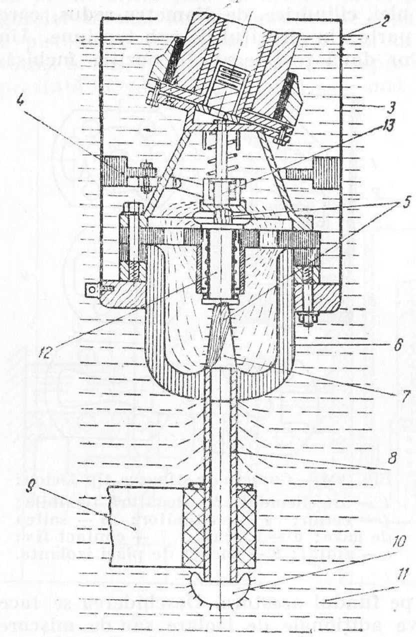


Fig. 201. — Întreruptor cu mișcare forțată a uleiului în camera de stingere și în cuvă: 1 — izolator de trecere; 2 — nivel de ulei; 3 — capac izolant; 4 — racord; 5 — arc; 6 — cameră de stingere; 7 — gaze; 8 — tija de contact; 9 — traversă; 10 — gaze; 11 — ulei; 12 — contact basculant; 13 contact superior.

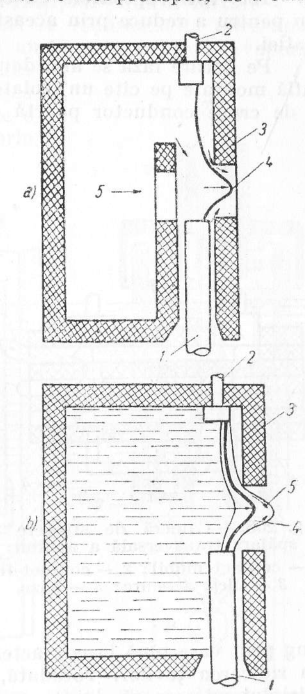


Fig. 202.— Camera de stingere sub ulei cu mișcare transversală a uleiului (după B a b i c o v): a — cameră de stingere cu gaze eliberate din pereți; b — cameră de stingere în ulei; 1 — contact mobil; 2 — contact fix; 3 — cuvă; 4 — arc electric; 5 — gaze.

167. **Întreruptorul tip Deion** reprezintă o construcție specială care utilizează un principiu nou de stingere a arcului. Coloana de arc este forțată, de un cîmp magnetic transversal, să intre în șicanele unui pachet de lame metalice și izolante, evaporînd din materialele izolante, îmbibate cu ulei, gaze, care contribuie la desionizarea și stingerea arcului (fig. 204).

Grătarul care înconjoară din trei părți contactele între care apare arcul este compus dintr-o serie de plăci izolante îmbibate cu ulei, între care se găsesc și plăci confecționate dintr-un material magnetic. Arcul este deplasat lateral de cîmpul magnetic propriu, care se închide, prin plăcile metalice ale grătarului, spre pungile cu ulei. Gazele produse sînt apoi forțate să treacă transversal prin zona arcului viu,

desionizînd această zonă și stingînd arcul înainte ca piesele de contact să fie retrase din interiorul grătarului [1])

168. **Întreruptoarele cu cuvă sub tensiune** au fost construite încă de mult timp pentru a reduce prin aceasta cantitatea de ulei necesară stingerii arcului și a izolației.

Pe fiecare fază se află două vase cu ulei, cilindrice, de diametru redus, care se află montate pe cîte un izolator, făcînd parte din circuitul de sub tensiune. Un cap de cruce conductor poartă deasupra lor două țevi, care, în poziție închisă,

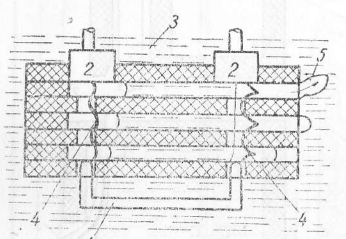


Fig. 203. — Cameră de stingere cu spălare transversală a arcului:
1 — contact mobil; *2* — contact fix; *3* — ulei; *4* — arc; *5* — gaze.

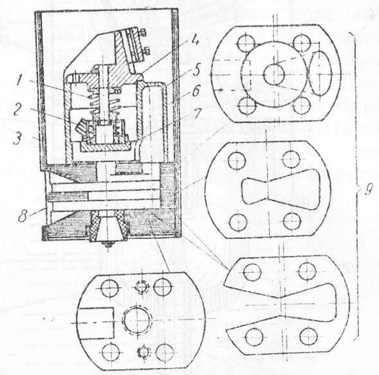


Fig. 204. — Cameră de stingere tip Deion:
1 — arc elicoidal; *2* — legătură flexibilă; *3* — ecran; *4* — susținător; *5* — saltea de gaze; *6* — carcasă; *7* — contact fix; *8* — ajutaj; *9* — pachet de plăci izolante.

ajung prin vase pînă la contactele fixe de pe fundul acestora. Deschiderea se face prin ridicarea țevilor. Totodată, dispozitive adiționale de izolare sau de mișcare a uleiului micșorează durata arcului și măresc puterea de rupere. Manevra unui astfel de întreruptor se face, deobicei, combinînd acțiunea resorturilor cu cea a unui motor electric. Acest tip de întreruptor necesită un minim de cantitate de ulei și face trecerea de la întreruptoarele cu ulei mult, la cele cu ulei puțin.

e) Întreruptoarele cu ulei puțin

169. **Istoric și generalități.** S-au construit începînd din 1930 și se află, de atunci, în exploatare, sub tensiuni pînă la 287 kV și puteri de rupere pînă la 2500 MVA. Principial, aceste întreruptoare au fost construite prin rotația cu 180° a camerei de stingere sau de explozie cufundate în ulei și trecînd izolația între faze asupra unor izolanți solzi.

Există în prezent numeroase construcții de astfel de întreruptoare, dintre care două tipuri sînt reprezentate în fig. 205.

La tipul *a* presiunea, care se produce în camera inferioară a contactului, presează ulei proaspăt transversal pe arc. La tipul *b* tija de contact trece succesiv printr-o serie de camere intermediare pline cu ulei, făcînd ca presiunea să varieze

[1]) M. A. Babicov, *Aparate electrice*, (traducere din limba rusă) Editura Energetică de stat 1954.

periodic, compresia și expansiunea succesivă fiind un mijloc cunoscut de a împiedica ionizarea în arc.

170. **Întreruptoarele cu piston diferențial.** Principiul suflării forțate a unui mediu de stingere între contactele care se despart se realizează la *întreruptorul cu piston diferențial*. În acesta, arcul produce, la aprinderea sa, prin evaporarea gazelor din ulei, aceeași presiune de o parte și de alta a pistonului diferențial. Acesta din urmă se mișcă totuși în sus, datorită faptului că suprafața pe care o prezintă în camera superioară este mai mică, și prin

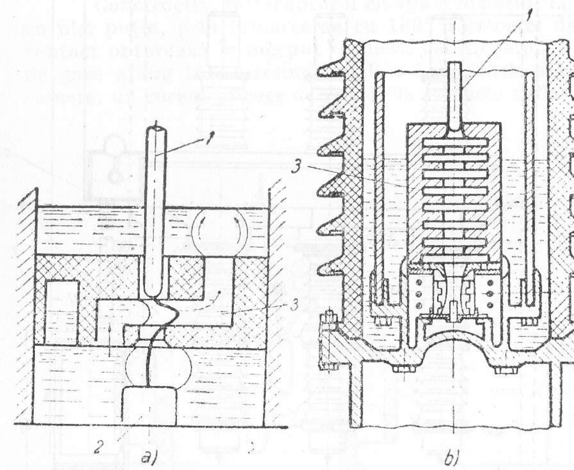


Fig. 205. — Două tipuri de camere de stingere cu ulei puțin: *1* — contact mobil; *2* — contact fix; *3* — cameră de stingere.

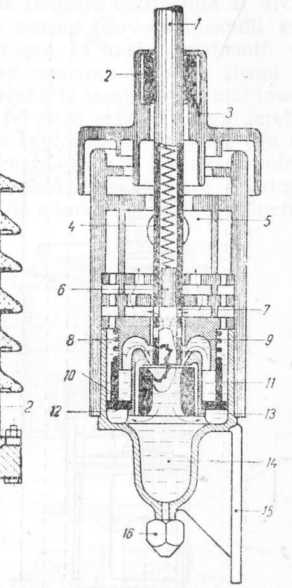


Fig. 206. — Întreruptor cu piston diferențial:
1 — țeavă de contact; *2* — contact alunecător; *3* — capac; *4* — arc elicoidal; *5* — cameră de gaze; *6* — piston; *7* — orificiu în țeava de contact; *8* — arcul pistonului diferențial; *9* — canale de ulei; *10* — suprafața superioară a pistonului diferențial; *11* — piston diferențial; *12* — suprafața inferioară (mai mare) a pistonului diferențial; *13* — contact fix; *14* — rezervor de ulei; *15* — cadru de fixare; *16* — șurub de ulei.

această mișcare forțează ulei proaspăt deacurmezișul și în lungul arcului (fig. 206).

În acest întreruptor s-au luat măsuri constructive necesare pentru a menține în zona arcului o presiune înaltă, chiar și în cazul cînd se întrerup curenți mai puțini intenși. Tija de contact are forma unei țevi cu deschideri laterale care, atunci cînd, în timpul cursei de deschidere ajung în dreptul orificiilor de evacuare, permit expulsarea gazelor și a lichidului înafară și realizează o spălare eficace a piciorului arcului din interiorul țevii. Un piston mobil din același interior obturează aceste orificii de evacuare și le liberează numai dacă presiunea interioară este suficient de mare pentru a comprima arcul din interiorul tijei.

Întreruptoarele utilizînd principii similare de stingere a arcului au ajuns la puteri de rupere remarcabile, cu dimensiuni exterioare relativ reduse. Construcțiile moderne trec de la dispoziții cu fixarea laterală a întreruptorului, pe pereții verti-

cali, la forme de coloană a întreruptorului, dispusă pe un cărucior mobil. Ambele execuţii evită formarea de bucle în conducte de racordare.

În fig. 207 se arată o execuţie sovietică pentru întreruptoare cu ulei puţin de 35 kV. Din figură rezultă dimensiunile relativ reduse ale acestor aparate.

171. **Întreruptoare cu impuls de ulei.** La acestea, deschiderea se face în mai puţin de trei cicli (0,06 s). Cantitatea de ulei pe care o cuprind este circa 1/10

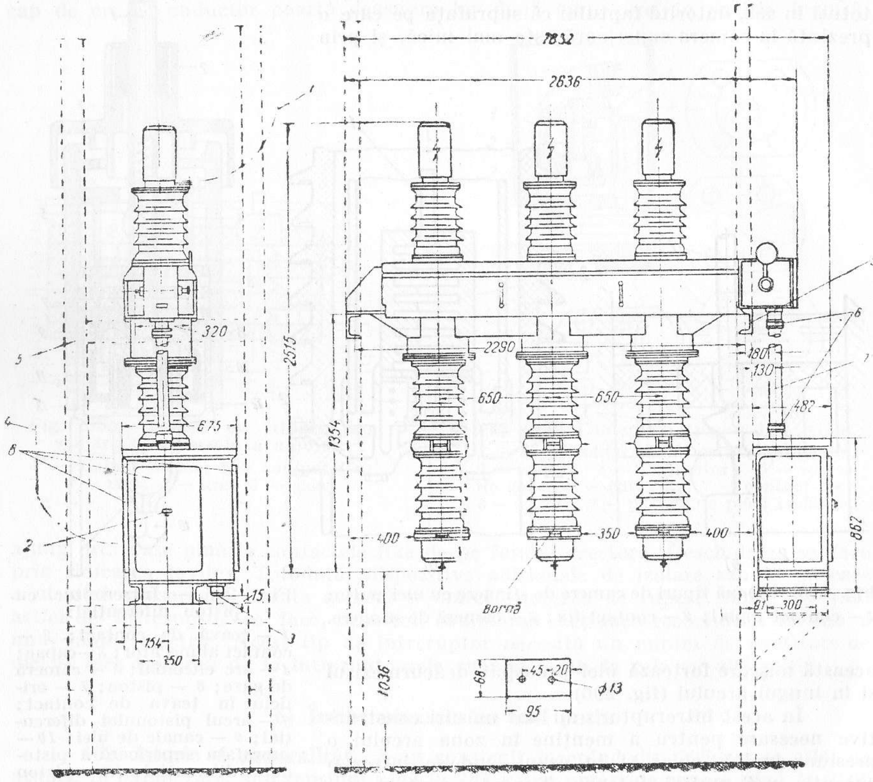


Fig. 207. — Întreruptor cu ulei puţin MG-35, 300MVA:
1 — racord; *2* — buton de declanşare; *3* — cap de cablu; *4* — racord; *5* — cadru de fixare; *6* — cuplaje; *7* — ţeavă 3″; *8* — mecanism de acţionare.

din cea a întreruptoarelor normale cu ulei mult de aceeaşi putere de rupere şi numai 1/10 din această cantitate de ulei se expune efectelor arcului. La întreruptorul de tipul cu impuls de ulei, mişcarea forţată şi dirijată de ulei este produsă de un cilindru antrenat de un arc. Rezultă, din aceasta, două avantaje: uleiul fiind pus în mişcare în mod mecanic, nu mai este necesar să se aştepte producerea arcului electric, şi a efectului de presiune a gazelor respective pentru a se începe stingerea arcului, ceea ce este important pentru o funcţionare rapidă. Deoarece viteza de

deschidere este asigurată independent de intensitatea curentului, cursa şi cu ea dimensiunile întreruptorului, pot fi reduse convenabil. Întreruptorul este format din două părţi egale, fiecare avînd pistonul său propriu de acţionare a uleiului.

f) Întreruptoare cu apă

172. **Principii generale.** Uleiul este un mediu de stingere foarte bun al arcurilor, dar prezintă desavantajul de a fi combustibil, putînd provoca incendii sau eventuale spargeri ale cuvelor. De aceea, el se înlocuieşte, la unele construcţii de întreruptoare, prin *apă*, sau, mai frecvent, printr-un amestec de apă, alcool şi glicerină, numit *expansină*, mai izolant ca apa şi congelabil la temperaturi mai joase.

Constructiv, întreruptorul cu apă a rezultat, la fel ca în cazul întreruptoarelor cu ulei puţin, prin întoarcerea cu 180° a camerei de explozie. În aceasta, tija de contact obturează la început camera de stingere, în care vaporii de apă conduşi de gaze ajung la o presiune înaltă. La părăsirea deschiderii superioare a primei camere, un curent eficace de vapori de apă este suflat de-a lungul arcului, producînd

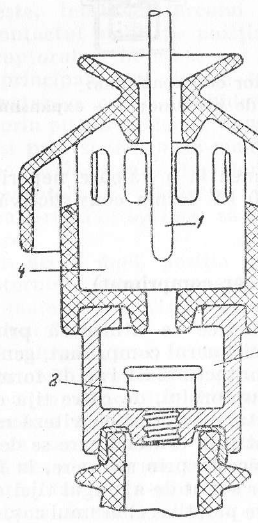


Fig. 208.— Întreruptor cu apă:
1 — contact mobil; *2* — contact fix; *3* — cameră de apă; *4* — cameră de destindere.

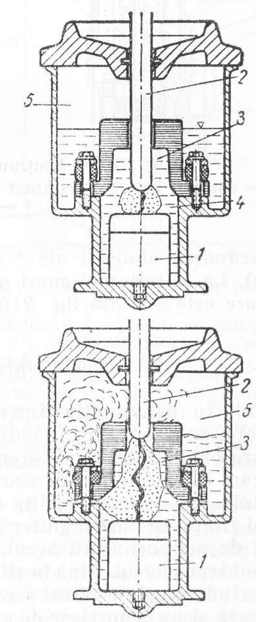


Fig. 209. — Cameră de expansiune cu amortizare elastică a presiunii:
1 — contact fix; *2* — contact mobil; *3* — cameră de presiune; *4* — expansină; *5* — cameră de expansiune.

o răcire a acestuia. În camera superioară, deschisă lateral, aburii se pot condensa, contribuind astfel şi mai mult la răcirea şi la stingerea arcului (fig. 208).

173. **În întreruptoarele cu expansiune,** arcul se stinge în mod analog, prin apariţia, mai întîi, a unei suprapresiuni în prima cameră plină cu apă, şi apoi, a unei

destinderi în camera a doua, ceeace produce o răcire și o spălare eficace a arcului. Camera inferioară se montează elastic, astfel încît la întrecerea unei anumite presiuni interioare, ea să se poată ridica de pe scaunul ei în carcasa aparatului, per-

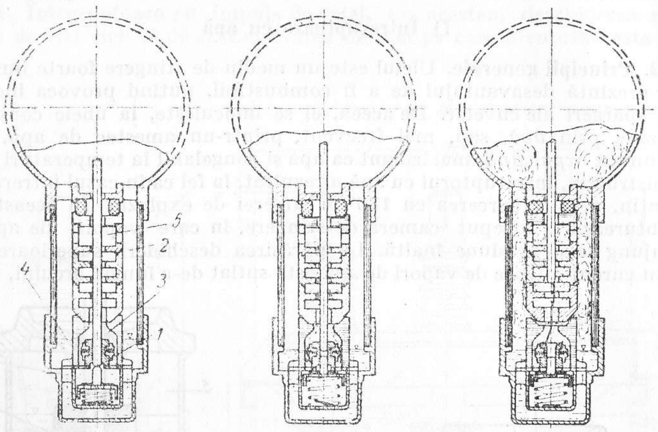


Fig. 210. — Secțiune printr-un întreruptor cu expansiune:
1 — contact fix; *2* — contact mobil; *3* — cameră de presiune; *4* — expansină; *5* — cameră de expansiune.

mițînd scăparea aburilor afară și reducînd presiunea la o valoare nepericuloasă (fig. 209). La puteri mai mari și tensiuni peste 10 kV forma constructivă corespunzătoare este cea din fig. 210.

g) Întreruptoare pneumatice (cu aer comprimat)

174. **În construcția întreruptoarelor pneumatice** se utilizează principiile menționate, cu diferența că mediul de stingere este aici aerul comprimat, generat de un compresor special și nu de arcul de întrerupere. Contactului fix i se dă forma unui ajutaj, care este obturat, în starea închisă a întreruptorului, de către tija de contact mobilă. La declanșare, tija este scoasă din contactul-ajutaj cu viteză mare și, în același timp, un curent puternic de aer este suflat prin orificiul care se deschide. Curentul de aer înconjură arcul, îl dirijează și îl răcește prin scurgere, la început axial, apoi transversal. Pînă la sfîrșit, curentul de aer suflat de-a lungul tijei de contact desprinde arcul de vîrful acestuia și îl suflă, între pereții reci ai unui coș, pe care se montează și un amortisor de sunete.

Avantajul important al acestui întreruptor constă în faptul că procesul de stingere este independent de intensitatea curentului. Totuși a fost nevoie de o lungă serie de încercări pînă s-au dat forme constructive definitive acestui întreruptor.

Aplicată la curenții mici, forța de rupere puternică datorită aerului comprimat ar putea să întrerupă curentul alternativ, înainte ca acesta să ajungă, în mod natural, la valoarea zero, ceea ce poate produce supratensiuni periculoase pentru izolația instalației și a întreruptorului însuși. Din acest motiv, pînă la tensiuni de 35 și de 60 kV, acești întreruptori se echipează cu rezistențe în paralel

cu arcul, pentru a amortiza oscilațiile libere ale sistemului, după o întrerupere bruscă a curentului.

175. **Diferite forme constructive.** În întreruptorul reprezentat în fig. 211, aerul comprimat asigură închiderea și deschiderea în mod indirect, adică acționează un piston (*2* în figură), care, la rîndul său, acționează tija mobilă de contact, printr-un sistem bielă-manivelă (*3*—*4*—*5* în figură).

În ultimul timp, s-au răspîndit însă mai mult tipurile de întreruptoare în care aerul comprimat *acționează direct contactele*. Anume, aerul comprimat apasă contactul mobil contra unui arc puternic, iar prin deplasarea acestui contact mobil, se realizează întreruperea și se deschide o supapă, prin care trece aerul comprimat, asigurînd totodată și stingerea arcului. Evident însă că, îndată ce vîna de aer comprimat a asigurat stingerea și s-a destins, ieșind pe coșul întreruptorului, echilibrul inițial se restabilește, tensiunea arcului împingînd înapoi contactul mobil, pe poziția « închis » a întreruptorului. În acest caz însă, contactele principale sînt legate în serie cu un separator, a cărui deschidere se efectuează, prin piston acționat de aerul comprimat și prin sistem bielă-manivelă, *imediat* după deschiderea contactelor principale ale întreruptorului, respectiv, înainte ca presiunea aerului comprimat să scadă, prin destindere.

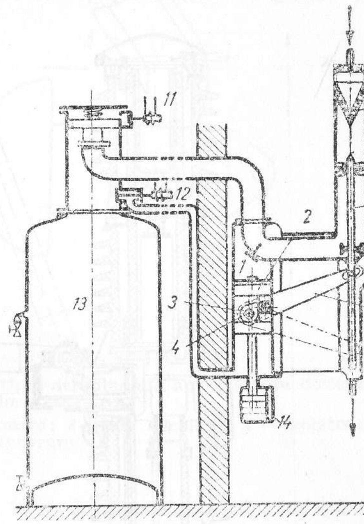


Fig. 211.— Tip de întreruptor pneumatic de 10 kV:
1 — cilindru; *2* — piston cu dublă acționare; *3* — ax de acționare; *4* — manivelă mecanică; *5* — manivelă izolantă; *6* — tija contactului mobil; *7* — cadru izolant; *8* — contact ajutaj; *9* — contact alunecător; *10* — amortizor acustic; *11* — electromagnet de declanșare; *12* — electromagnet de anclanșare; *13* — rezervor de aer comprimat; *14* — frînă cu amortizor.

În acest mod, poziția deschisă a întreruptorului este marcată printr-un interval mare de aer vizibil la separatorul anexat aparatului.

Bineînțeles, însă, că închiderea întreruptorului este produsă în acest caz prin închiderea separatorului, întrucît, îndată după trecerea aerului comprimat la deschidere, contactele principale s-au închis. Închiderea separatorului pe sarcină, determinată de mecanismul piston-bielă-manivelă descris mai sus, este posibilă aici datorită rapidității foarte mari a mișcării, dată fiind forța aerului comprimat pe masa foarte redusă în mișcare (piese de aluminiu). În acest mod, nu este timp material necesar ca să se producă un arc între cuțitul mobil și contactul fix al separatorului, cînd cuțitul ajunge la distanța de străpungere a aerului pentru tensiunea respectivă.

Întreruptoarele cu aer comprimat *cu acționare indirectă* se construiesc pentru maximum 20 kV tensiune de serviciu. În schimb, întreruptoarele cu acționare directă a contactelor prin aer comprimat se pot construi pînă la cele mai înalte tensiuni (practic pînă la 400 kV). Dealtfel, la tensiuni foarte înalte (220—400 kV), întreruptorul cu aer comprimat de acest tip este singurul care s-a putut menține în practică, datorită posibilității de a se monta mai multe contacte în serie, care pot întrerupe curenți foarte mari, rezistînd solicitărilor foarte mari din partea tensiunii de revenire, dacă în jurul ajutajului se menține o presiune de aer suficientă.

Fig. 212 reprezintă un întreruptor pneumatic de tipul sovietic VV 110, pentru 110 kV tensiune de serviciu şi 2 500 MVA putere de rupere.

Pentru tensiuni superioare celei de 110 kV se întrebuinţează combinaţii în serie a unor astfel de întreruptoare fără ca totuşi înălţimea coloanei întreruptorului (« A » în figura 229), să depăşească cifra de 8.

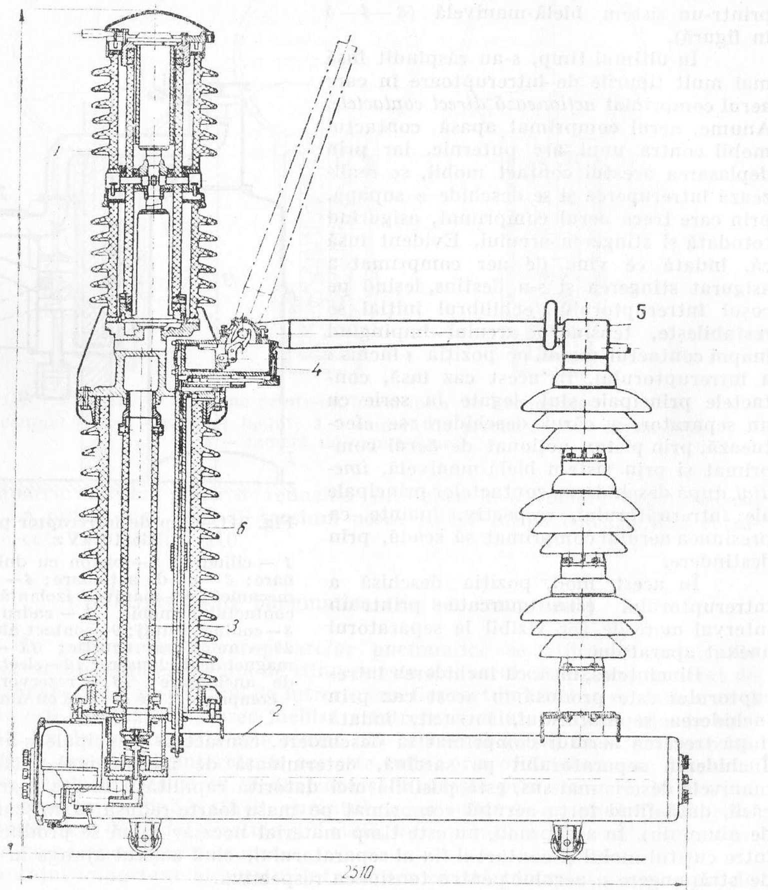


Fig. 212. — Întreruptor cu aer comprimat sovietic cu acţionare directă a contactelor de tipul VV 110:

1 — izolatorul camerei de rupere; *2* — rezervor de aer; *3* — conductă de aer; *4* — piston de acţionare pneumatică; *5* — contact fix al separatorului; *6* — conductă de aer comprimat pentru acţionarea separatorului.

176. Întreruptorul pneumatic aerodinamic. La tensiuni de peste 35 kV, întreruptorului pneumatic (cu aer comprimat) i se dă, cîteodată, o formă aerodinami-

că (fig. 213). Aici ajutajul este construit din material izolant. Contactul se face în aer liber, între două tije care se mişcă axial în două camere de stingere de formă

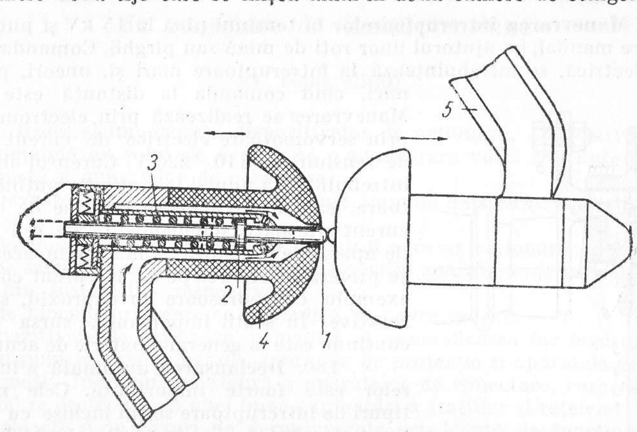


Fig. 213. — Întreruptor cu aer comprimat, de tipul aerodinamic au acţionare directă a contactelor:

1 — tija contactului mobil; 2 — piston de acţionare; 3 — arc elicoidal; 4 — izolator; 5 — braţ de manevrare.

aerodinamică şi care se rotesc, la rîndul lor, între două axe verticale, îndepărtîndu-se una de alta, la declanşare.

h) Întreruptoare cu autoformare de gaze

177. Principiu constructiv. Întreruptoarele cu autoformare de gaze întrebuinţează efectul de desionizare a pereţilor reci pentru stingerea arcurilor la puteri de scurtcircuit relativ mai mici. În camerele de stingere tubulare ale acestor întreruptoare, numite şi *separatoare de sarcină* (fig. 214) arcul se suflă de către gazele evaporate din pereţii interiori, executaţi din materiale speciale îmbibate cu răşini, sau din sticlă organică (plexiglas).

Puterea de rupere a acestor întreruptoare nu depăşea pînă acum 15 MVA. Deaceea, ele nu se echipau cu declanşare automată prin relee de suprasarcină, ci se deschideau doar voit şi puteau întrerupe sarcini normale. Protecţia contra scurtcircuitelor era preluată, deobicei, de siguranţe de înaltă tensiune montate în serie. Această combinaţie de aparate este, în orice caz, mai economică decît un întreruptor de putere, care poate să fie supradimensionat faţă de puterea de scurtcircuit care apare în multe puncte dintr-o reţea. Ultimul tip studiat în U.R.S.S. atinge însă o putere de rupere de 200 MVA la 10 kV.

178. Concluzii. Se poate afirma că principiile de construcţie ale întreruptoarelor moderne de mare putere se bazează pe stadiul actual al cunoştinţelor teoretice privind desionizarea arcului şi utilizează diferite metode de a dirija forţat un mediu extinctor asupra arcului. Acest principiu a dus întîi la construcţia camerei de explozie, respectiv a camerei de stingere, care au devenit elemente active ale întreruptoarelor cu lichid sau ale celor pneumatice moderne.

i) Întreruptoarele de înaltă tensiune în exploatare

179. Manevrarea întreruptoarelor la tensiuni pînă la 15 kV şi puteri reduse, se poate face manual, cu ajutorul unor roţi de mînă sau pîrghii. Comanda, respectiv manevra electrică, se întrebuinţează la întreruptoare mari şi, uneori, pentru cele mici, cînd comanda la distanţă este necesară. Manevrarea se realizează prin electromagneţi sau prin servomotoare electrice de curent continuu, de tensiuni de 110–220 V. Curentul alternativ se întrebuinţează numai la staţii cu puţine întreruptoare, sau acolo unde se dispune de o sursă de curent alternativ independentă de cea întreruptă de aparatele din staţie. Chiar şi în aceste cazuri, se preferă redresarea pe loc în curent continuu, de exemplu cu redresoare cu cuproxid, seleniu sau rotative. În staţii importante, sursa de curent continuu este în general o baterie de acumulatoare.

180. **Declanşarea automată** a întreruptoarelor este foarte importantă. Cele mai multe tipuri de întreruptoare se ţin închise cu un zăvor, ţinut, la rîndul său, în poziţia închisă printr-un clichet şi se manevrează de un electromagnet de declanşare (declanşor), direct sau prin mecanisme de pîrghii. În instalaţii importante şi la întreruptoare mari se aplică în mod general relee legate în derivaţie pe o sursă de curent continuu şi a căror funcţionare provoacă închiderea curentului continuu prin declanşorul întreruptorului.

Circuitelor şi surselor de alimentare auxiliară li se pretinde un înalt grad de siguranţă. Bateriile de acumulatoare au tensiuni de 100 sau 220 V. În instalaţii mai mici, se pot utiliza, pentru acţionarea declanşoarelor, baterii mai mici cu tensiuni mai reduse (24, 58 şi 60 V), funcţionînd în tampon cu o sursă de încărcare.

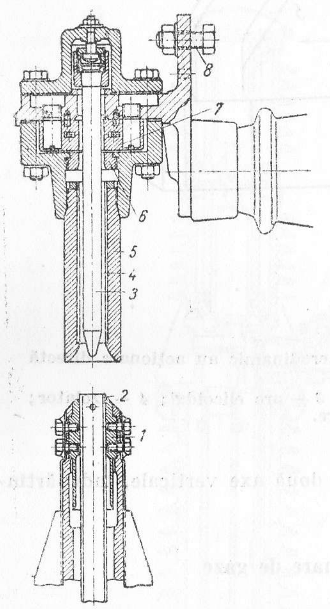


Fig. 214. — Întreruptor cu autosuflare de gaze:
1 — contact alunecător; 2 — ţeavă de contact mobilă; 3 — tijă de stingere; 4 — ţeavă generatoare de gaz; 5 — pereţii camerei de stingere; 6 — inel de uzură (picior de arc); 7 — contact fix; 8 — şurub de racordare.

181. **Exploatarea şi întreţinerea întreruptoarelor.** Întreruptoarele de putere sînt aparatele de manevră de conexiune şi de protecţie cele mai importante din centrale, din staţii şi din reţele. De buna lor funcţionare, în cazuri de defectări şi de scurtcircuite, depinde însăşi siguranţa şi continuitatea alimentării consumatorilor cu energie electrică. De aceea, diferitele manevre voite şi programate în reţele se fac, deobicei, numai prin comanda şi acţionarea întreruptoarelor respective, iar separatoarele se manevrează, de obicei, numai cînd aceste întreruptoare sînt deschise.

Din cauză că întreruptoarele se află, adeseori, luni de-a rîndul în stare de funcţionare în poziţie închisă, mişcarea lor la comanda releelor de protecţie trebuie să fie asigurată pe deplin. Din această cauză, se prevăd revizii periodice ale întreruptoarelor cu controlul părţilor active (contacte) şi mobile (mecanismul de acţionare). De executarea conştiincioasă a acestor revizii depinde, de multe ori, evitarea extinderii deranjamentelor în reţele. De aceea este foarte util ca reviziile periodice să se execute după instrucţiuni precise, iar după scurtcircuite grave să se inspecteze integritatea contactelor şi a mecanismului de acţionare.

R. Dispozitive de acţionare şi comandă a aparatelor de conectare de înaltă tensiune

a) Generalităţi

182. **Rolul şi importanţa dispozitivelor de acţionare.** Dispozitivele de acţionare şi comandă au rolul de a permite o manevrare voită sau automată sigură, uşoară şi justă a aparatelor de conectare.

Manevrarea aparatelor de conectare impune existenţa unor dispozitive de acţionare şi a unor dispozitive:

— de comandă prin care se dă impulsul necesar acţionării;

— de semnalizare prin care se indică poziţia aparatelor de conectare şi stările anormale din instalaţiile respective;

— de blocare prin care se împiedică manevre greşite.

Dispozitivele de acţionare, comandă şi semnalizarea fac legătura între tablourile sau pupitrele de comandă, aparatele de protecţie şi aparatele de conectare. Din acest motiv funcţionarea sigură a aparatelor de conectare, care contribuie în mod esenţial la desfăşurarea unei bune exploatări a staţiilor şi reţelelor, atît în condiţii normale cît şi în cazuri de deranjamente, este legată de funcţionarea sigură a dispozitivelor de acţionare şi comandă. Din punctul de vedere al exploatării, aceste dispozitive formează un tot cu aparatele de conectare respective.

În cele ce urmează se tratează principiile de funcţionare şi construcţie a dispozitivelor de acţionare şi comandă a aparatelor de conectare, fără însă a se expune legăturile funcţionale care există între aparate şi dispozitive cît şi între acestea şi camerele, respectiv tablourile de comandă. Aceste legături organice se tratează în capitolul Staţii electrice. Se vor prezenta unele tipuri de dispozitive mai uzuale la noi în ţară.

183. **Terminologie.** *Acţionarea aparatelor de conectare* înseamnă operaţia de modificare voită sau automată a conexiunilor căilor de curent prin punerea în mişcare şi aducerea într-o anumită poziţie a contactelor principale ale acestor aparate. În acest sens, deschiderea şi închiderea contactelor principale (declanşarea şi anclanşarea) sînt acţionări ale aparatului.

Dispozitiv de acţionare se numeşte în cele ce urmează, mecanismul care serveşte la transmiterea efortului pentru închiderea, dechiderea şi menţinerea în aceste poziţii a aparatelor de conectare, fără a face parte din aparatul de conectare propiu zis.

Aparatele de conectare au ele însăşi elemente mecanice şi electrice care servesc direct sau indirect la comanda, acţionarea şi semnalizarea poziţiei lor. Astfel sînt pîrghiile de ridicare şi coborîre a traversei cu contacte la întreruptoare, axul de acţionare cu manivela lui etc. care intervin direct în operaţiile de acţionare (v. STAS 4195-53 § 1.3.1.). Ele făcînd însă parte integrantă din aparatul de conectare, nu aparţin dispozitivului de acţionare în sensul consideraţiilor care urmează.

Acţionarea dispozitivelor de conectare poate să fie:

— directă, adică fără elemente intermediare de conducere şi susţinere între aparat şi dispozitivul de acţionare;

— indirectă, prin transmisii mecanice fixate şi conduse în afara aparatului.

Declanşarea unui aparat de conectare înseamnă operaţia de ridicare a piedicii, eliberîndu-se mecanismul de deschidere a contactelor principale.

Declanşor este un dispozitiv care prin mişcarea sa eliberează piedica de reţinere în poziţie închisă şi provoacă declanşarea aparatului. El poate fi mecanic, termic sau electromagnetic.

Declanşorul electromagnetic poate fi acţionat:
— cu curent de lucru, cînd declanşarea are loc la stabilirea curentului de excitaţie, de exemplu prin atragerea unei armături;
— cu curent de repaos, cînd declanşarea are loc la întreruperea sau micşorarea curentului de excitaţie, de exemplu prin scăparea unei armături.

Declanşorul electromagnetic poate să fie:
— primar, dacă înfăşurarea sa este intercalată în circuitul principal al întreruptorului;
— secundar, dacă înfăşurarea sa este legată la circuitul principal al întreruptorului prin transformatoare de curent sau de tensiune sau se alimentează de la o sursă auxiliară independentă.

Declanşare liberă se numeşte proprietatea dispozitivelor de acţionare de a permite declanşarea automată a întreruptoarelor fără antrenarea lor concomitentă. Prin ridicarea unei piedici, mecanismul de acţionare este decuplat, la declanşarea automată, de axul de acţionare, astfel încît întreruptorul poate declanşa singur, la o comandă externă, chiar dacă dispozitivul de acţionare se află blocat.

Mecanismul de liberă declanşare al dispozitivului de acţionare este un mecanism care permite decuplarea pieselor mobile ale întreruptorului de piesele mobile ale dispozitivului de acţionare, legate cu elementele de antrenare, pîrghie, volan sau servomotor (v. STAS 4195-53 § 1.3.5.).

Comanda aparatelor de conectare înseamnă operaţia de pornire voită a dispozitivului de acţionare pentru executarea unei operaţii de conectare.

Dispozitivul de comandă se numeşte mecanismul care serveşte la comanda acţionării aparatelor de conectare. El poate fi mecanic, electric sau mixt.

Circuit de comandă al dispozitivului de acţionare este circuitul destinat a transmite comanda pentru închiderea sau deschiderea aparatului, cum şi pentru pregătirea acestuia, dacă este cazul (v. STAS 4195-53 § 1.3.6.).

Contactor al dispozitivului de acţionare este un aparat care, sub acţiunea unei comenzi din afară, închide circuitul electromagnetului sau al electromotorului mecanismului de închidere al aparatului şi îl menţine închis numai în timpul exercitării acestei comenzi (v. STAS 4195-53 § 1.3.2.).

Comutator de comandă este un comutator manual de joasă tensiune, în circuitul de comandă, cu ajutorul căruia operatorul comandă închiderea şi deschiderea aparatului.

Blocarea aparatelor de conectare înseamnă operaţia de împiedicare a acţionării aparatelor în cazul cînd nu sînt îndeplinite anumite condiţii de acţionare fără pericol.

Dispozitiv de blocare este mecanismul care serveşte la împiedicarea unor acţionări interzise.

Circuit de blocare este circuitul destinat a pune în funcţiune mecanismul de blocare al dispozitivului de acţionare (v. STAS 4195-53 § 1.3.7.).

Semnalizarea poziţiei aparatelor de conectare înseamnă indicarea optică indirectă a poziţiilor extreme ale contactelor principale ale aparatului. Se semnalizează de obicei poziţia deschisă şi închisă a contactelor.

Circuit de semnalizare este circuitul diferitelor feluri de semnalizări (lămpi electrice, indicatoare etc.)

Contacte auxiliare sau contacte-bloc sînt contactele auxiliare de comandă, control, semnalizare şi blocare care fiind cuplate mecanic cu piesele mobile ale aparatului de conectare se închid sau se deschid cînd acesta trece de la o poziţie (închis sau deschis) la alta (STAS 4195-53 § 1.3.4.).

Contactele auxiliare pot fi ataşate şi antrenate direct de axul de acţionare a aparatului. În acest caz ele nu aparţin dispozitivelor de acţionare, comandă şi semnalizare ci aparatului însuşi.

184. **Clasificarea dispozitivelor de acţionare şi comandă.** *Dispozitivele de acţionare* se clasifică:
α) după sursa de energie necesară funcţionării, în:
— manuale, iar acestea în:
— cu deschidere manuală,
— cu deschidere manuală şi automată;
— cu servomotor, în:
— mecanice,
— pneumatice,
— electromagnetice,
— cu electromotor;
β) după felul aplicării energiei necesare acţionării, în:
— fără acumulare de energie,
— cu acumulare de energie;
γ) după felul legăturii cu aparatul de conectare în:
— directe,
— indirecte;
δ) după modul de transmitere a comenzii, în:
— cu comandă din faţa aparatului,
— cu comandă de la distanţă,
— cu comandă din faţa aparatului şi de la distanţă.

Declanşarea aparatelor de conectare poate să fie clasificată:
α) după felul legăturii între aparat şi dispozitivul de comandă, în:
— directă, provocată numai prin intermediul unui declanşor,
— indirectă, provocată prin intermediul unui releu, contactor etc, care acţionează asupra declanşorului;
β) după felul comenzii, în:
— automată la apariţia unor stări anormale în circuit,
— comandată cu ajutorul unui dispozitiv de comandă.

Declanşoarele se clasifică
α) după natura lor, în:
— mecanice,
— electromagnetice,
— termice,
— pneumatice;
β) după timpul de acţionare, în:
— rapide,
— temporizate,

Dispozitivele de blocare se clasifică după natura lor, în:
— mecanice,
— electromagnetice,
— pneumatice.

185. **Caracteristicile generale ale dispozitivelor de acţionare şi comandă.** Dispozitivul de acţionare atacă manivela care se află la unul din capetele axului de acţionare al aparatului de conectare. Unghiul pe care această manivelă îl face la o manevră este cuprins între 90 şi 180°.

În procesul de anclanşare a întreruptoarelor de înaltă tensiune dispozitivul de acţionare trebuie să învingă o serie de rezistenţe printre care cele mai importante sînt: rezistenţa resoartelor de declanşare, inerţia părţilor mobile ale întreruptorului, forţele de frecare din mecanismele întreruptorului şi a sistemului de transmisie a mişcării de la dispozitiv la întreruptor. La întreruptoarele în ulei trebuie să se învingă şi rezistenţa uleiului la mişcarea părţilor mobile din întreruptor care se află sub ulei. La anclanşarea întreruptorului pe scurtcircuit, dispozitivul de acţionare

mai trebuie să învingă şi forţele electrodinamice (proporţionale cu pătratul curentului iniţial de scurtcircuit) care apar înainte de închiderea mecanică a contactelor la străpungerea intervalului dintre acestea în cursul apropierii lor. Aceste forţe tind să îndepărteze contactele mobile şi deci să împiedice anclanşarea.

Dispozitivul de acţionare trebuie să asigure o viteză minimă de apropiere a contactelor,deoarece, la o anclanşare lentă pe un scurtcircuit, există pericolul topirii şi lipirii contactelor întreruptorului. Pentru aceste motive, dispozitivul de acţionare trebuie să dispună la anclaşare de o putere corespunzătoare.

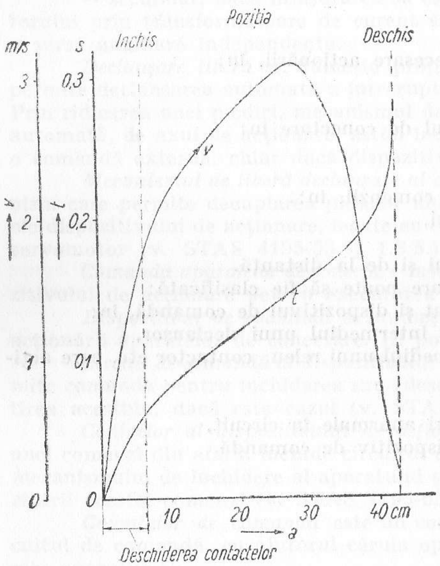


Fig. 215. — Variaţia vitezei contactelor la declanşare:
v — viteza contactelor principale; t — timpul de declanşare; a — cursa contactelor.

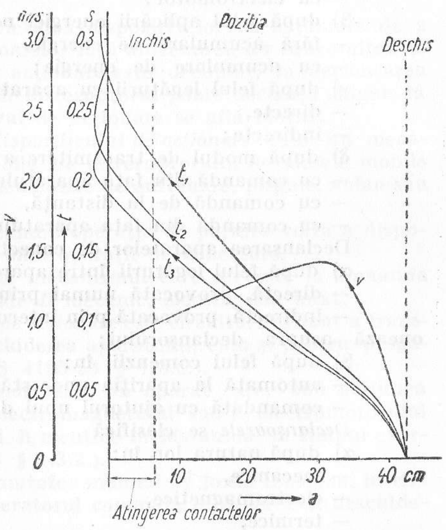


Fig. 216. — Variaţia vitezei contactelor la anclanşare:
v — viteza contactelor principale la tensiunea U_n; t — timpul de anclanşare (t_1 — la tensiunea 0,8 U_n, t_2 — la tensiunea U_n, t_3 — la tensiunea 1,1 U_n).

Curba desfăşurării cuplului cerut de întreruptor la anclanşare trebuie reprodusă cît mai fidel de către dispozitivul de acţionare, spre a garanta o funcţionare sigură la anclanşări pe scurtcircuit. Cuplul cerut la anclanşare creşte uşor şi aproape liniar pînă la atingerea contactelor principale, după care marchează un maxim necesar pentru învingerea presiunii resoartelor de contact şi a eventualelor forţe de scurtcircuit. Pe la sfîrşitul cursei, cuplul trebuie să scadă, pentru a nu produce la închidere o lovitură prea violentă.

Cuplul necesar depinde de felul şi capacitatea aparatului. Pentru întreruptoarele în ulei, cu o singură cuvă, cuplul este cuprins între 50 şi 500 Nm.

În procesul de declanşare a întreruptoarelor puterea dezvoltată de dispozitivele de acţionare poate să fie redusă la o mică fracţiune a puterii dezvoltate pentru anclanşare, deoarece declanşarea întreruptorului se produce aproape în toate cazurile prin resoartele proprii, dispozitivul de acţionare trebuind doar să elibereze clichetul de reţinere a întreruptorului în poziţie închisă.

În fig. 215 şi 216 se repezintă relaţiile cinematice ale procesului de declanşare şi anclanşare a unui întreruptor.

Declanşarea manuală, ca şi cea automată, a unui întreruptor, se face în cele mai multe cazuri prin ridicarea piedicii care îl reţine în poziţia închisă şi nu printr-o legătură directă între dispozitivul de acţionare şi mecanismul de mişcare a contactelor principale. Acesta este antrenat de obicei cu mare viteză de către resoartele de declanşare ale întreruptorului.

Excepţie la cele spuse mai sus fac acţionările întreruptoarelor pneumatice la care declanşarea nu se face prin resoarte.

În orice caz se cere ca întreruptorul să poată declanşa în fracţiuni de secundă şi să nu fie reţinut de starea dispozitivului de acţionare.

186. **Construcţia dispozitivelor de acţionare şi comandă.** Dispozitivele de acţionare şi comandă se construiesc astfel încît să se poată ataşa şi aplica la mai multe feluri şi tipuri de aparate de conectare. Dispozitivele de acţionare se montează de obicei lîngă sau pe aparatele de conectare respective. Dispozitivele de comandă şi de semnalizare se pot combina sau uni parţial sau total. Ele se montează de obicei pe panourile de comandă. De asemenea, dispozitivul de blocare se poate uni sau combina cu dispozitivul de acţionare.

La separatoare acţionarea poate fi făcută manual, prin electromotor sau pneumatic. În cazul acţionărilor manuale, mişcarea se transmite fie printr-un sistem de pîrghii (la separatoarele pentru curenţi nominali pînă la 3000 A), fie printr-un sistem cu melc şi roată elicoidală (la separatoarele pentru curenţi nominali mai mari decît 3 000 A). Închiderea şi deschiderea separatoarelor de interior se face prin rotirea manivelei de pe axul separatorului (de exemplu prin dispozitivul tip AMI 1)), iar la cei de exterior aceste operaţiuni se realizează prin rotirea izolatorului din mijloc al separatorului (de exemplu prin dispozitivul tip AME).

Dispozitivele de acţionare cu electromotor se utilizează în instalaţiile care necesită comanda la distanţă a separatoarelor. Ele sînt mai complicate şi mai scumpe decît dispozitivele de acţionare manuale şi sînt destinate în special comenzii separatoarelor grele (avînd curenţi nominali de 3 000 A sau mai mult) din instalaţiile interioare. Aceste dispozitive pot fi utilizate şi în instalaţii exterioare pentru separatoare de 110 kV sau mai mult. Dispozitivele de acţionare cu electromotor sînt prevăzute cu un motor electric de curent continuu sau alternativ avînd puterea de 0,5—0,8 kW şi tensiunea 110—380 V. Dispozitivele de acţionare pneumatică se utilizează pentru comanda separatoarelor de orice mărime atît în interior cît şi în exterior. Construcţia lor este simplă şi funcţionarea sigură.

La întreruptoarele de înaltă tensiune, dispozitivele de acţionare servind la anclanşarea, menţinerea în stare închisă şi la declanşarea lor, trebuie să conţină un mecanism de anclanşare, unul de reţinere în poziţia închisă şi unul de declanşare.

La întreruptoarele în ulei cu o singură cuvă, axul de acţionare este, în cele mai multe cazuri, fixat pe capacul masiv, paralel cu axele celor trei poli şi este dispus între izolatoare, manivela fiind dispusă pe partea frontală mai îngustă a cuvei. Dacă dispozitivul de acţionare atacă direct acest ax, acţionarea se numeşte frontală. De cele mai multe ori adaptarea la dispoziţia barelor cere ca dispozitivul de acţionare să atace axul întreruptorului din direcţie perpendiculară. În acest caz acţionarea se numeşte laterală, axul dispozitivului de acţionare atacînd în unghi drept un angrenaj de transmitere a cuplului.

Dispozitivul de acţionare poate să atace direct sau indirect axul de acţionare al aparatului de conectare. În cele mai multe cazuri acţionarea este indirectă

1) AMI simbolizează acţionarea manuală de interior, iar AME respectiv de exterior.

făcîndu-se prin intermediul unor tansmisii mecanice (pîrghii și tije, cabluri și role, lanțuri și roți dințate, roți dințate conice, cu axurile lor).

Declanșorul se poate dispune direct pe întreruptor, transmisia comenzii făcîndu-se mecanic (prin tije), sau la distanță, comanda de declanșare fiind transmisă electric și efectuată de un electromagnet.

b) Dispozitive de acționare manuală

187. Dispozitive de acționare cu volan sau manetă. Acționarea manuală directă sau indirectă, prin transmisii mecanice, este foarte frecventă la separatoare (STAS 4082-53) și întreruptoare cu tensiuni nominale pînă la 35 kV, ea fiind foarte simplă și foarte sigură (STAS 4195-53, § 2.2.2.). Este indicată în cazurile în care se renunță la comanda de la distanță, iar cuplul de anclanșare nu întrece 200 Nm. După GOST 688-41 și normele DIN 57670 § 33, acționarea manuală se poate aplica pentru întreruptoare pînă la o putere nominală de rupere de 200 MVA și un curent de rupere de 30 kA.

La curenți mai mari, forțele electrodinamice care apar în cursul anclanșării întreruptorului pe scurtcircuit pot deveni atît de mari, încît anclanșarea manuală să nu mai fie posibilă sau să se execute prea lent și să ducă la topirea contactelor întreruptorului.

Direcția de acționare manuală la anclanșare, cît și poziția de închidere și deschidere, se marchează pe dispozitiv.

Constructiv se disting:
— dispozitive de acționare cu volan, avînd mișcarea în plan frontal;
— dispozitive de acționare cu pîrghie sau manetă pivotantă, cu mișcare în plan de profil.

Dispozitivele pentru acționare manuală, fără declanșare automată, trebuie să asigure, prin mecanismul lor, ca la deschidere, contactele mobile ale întreruptorului, imediat ce au fost eliberate, să se poată mișca independent de poziția volanului sau a pîrghiei de comandă (STAS 4195-53 § 2.2.2.).

Toate dispozitivele, cu excepția celor pentru acționare manuală cu deschidere neautomată, trebuie să asigure la închidere posibilitatea decuplării părților mobile ale întreruptorului, cel puțin spre sfîrșitul cursei de închidere, ori de cîte ori este posibil să se amorseze un arc între contactele întreruptorului (în caz de închidere pe scurtcircuit).

Toate dispozitivele de acționare care pot fi închise manual sub tensiune și care au declanșare automată trebuie să fie cuplate la întreruptor printr-un mecanism de liberă declanșare (respectînd și condiția din aliniatul de mai sus).

La anclanșare cu dispozitive manuale, contactele principale se pun în mișcare prin intermediul manetei și se îmbină complet în poziția finală de închidere. În cazul întreruptoarelor, se armează concomitent resoartele proprii de declanșare și la finele cursei se îmbină clichetul de reținere în poziția închisă.

Acest clichet se află sub acțiunea de comandă a declanșorului. Dacă închiderea se face pe scurtcircuit sau pe un curent mai mare decît cel permis de aparatul de protecție, prin ridicarea piedicii, se produce declanșarea. Se zice că întreruptorul « nu ține ».

α) La *dispozitivele de acționare cu volan* relația între sensul învîrtirii și mișcarea contactelor principale este reglementată prin STAS 4195-53 (tabela 33).

Diametrul volanului depinde de felul și mărimea întreruptorului, crește cu cuplul necesar și variază între 300 și 750 mm. Pe circumferința volanului se dispun adesea mînere pentru a ușura efortul depus la anclanșarea întreruptorului. În poziția finală de anclanșare volanul este reținut printr-un clichet comandat de declanșorul primar sau, printr-un electromagnet, de un declanșor secundar.

Tabela 33. Sensul mișcării la dispozitivele de acționare după STAS 4195-53

Nr. crt.	Denumirea organelor pentru comanda manuală a dispozitivului de acționare	Felul mișcării	Sensul mișcării și poziția organelor pentru comanda manuală	
			la închidere	la deschidere
1	Volan	Rotație	În sensul acelor de ceasornic	În sensul invers acelor de ceasornic
2	Pîrghie sau manetă	Rotație sau mișcare de du-te vino	În sus sau la dreapta	În jos sau la stînga
3	Două butoane așezate unul sub altul pe verticală	Apăsare sau tragere	Butonul de sus	Butonul de jos
4	Două manete așezate una sub alta pe verticală	Rotație	Maneta de sus	Maneta de jos
5	Două butoane așezate unul lîngă altul pe orizontală	Apăsare sau tragere	Butonul din dreapta	Butonul din stînga
6	Două manete așezate una lîngă cealaltă pe orizontală	Rotație	Maneta din dreapta	Maneta din stînga

Observație: Poziția organelor de comandă și sensul mișcării sînt considerate pentru operatorul care stă cu fața spre aparat.

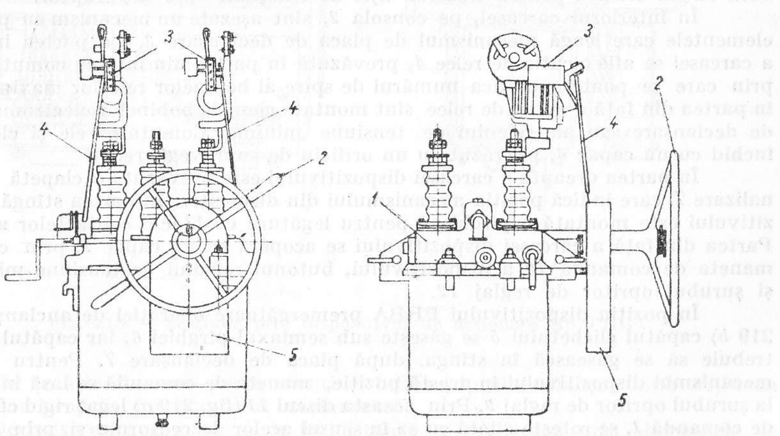


Fig. 217. — Dispozitiv de acționare manuală tip DMI-2 aplicat la un întreruptor cu ulei mult tip IU-6:
1 — întreruptor tip IU-6; *2* — volan; *3* — releu primar direct; *4* — tijă de declanșare; *5* — dispozitiv de acționare manuală tip DMI-2.

În fig. 217 se arată aplicarea unui dispozitiv de acționare manuală directă (TIP DMI-2) la un întreruptor cu ulei mult (Tip IU 6).

β). *Dispozitivele de acționare directe cu pîrghie sau manetă pivotantă* în formă de T sau de U s-au introdus pe o scară largă pentru tablourile de comandă a între-

ruptoarelor de joasă tensiune și s-au extins la separatoarele și întreruptoarele de înaltă tensiune, aplicîndu-se mai ales în cazul acționării laterale. Unghiul de acționare este cuprins între 90° și 180°. Relația între mișcarea manetei și a contactelor principale este reglementată prin STAS 4195-53 (tabela 33).

În stațiile interioare, acționarea separatoarelor se face prin dispozitive manuale cu pîrghie de tipul AMI (acționare manuală de interior). Un astfel de dispozitiv se vede în fig. 233.

În stații exterioare tipul utilizat este de altă contrucție, fiind adaptat condițiilor de acționare în exterior și se notează AME (acționarea manuală de exterior).

Mișcarea manetei în plan de profil față de mișcarea volanului în plan frontal prezintă avantajul unei mai bune adaptări a cuplului activ la cuplul rezistent în cursul anclanșării întreruptoarelor. Într-adevăr, în ultima parte a cursei de anclanșare, cuplul rezistent crește mult, pe de o parte din cauza comprimării resoartelor de declanșare, iar pe de altă parte din cauza presiunii exercitate prin îmbinarea contactelor principale. Acest efort maxim este mai ușor de aplicat de către manipulant împingînd manivela după ridicarea ei înspre panou, decît la capătul cursei de rotire a volanului de acționare.

Se dă mai jos un exemplu de dispozitiv de acționare manuală de construcție sovietică, care se fabrică și la noi în țară.

188. **Dispozitivul de acționare manuală tip PRBA.** Prin aceste dispozitive anclanșarea se poate face manual, iar declanșarea manual și automat. Anclanșarea automată nu este posibilă.

Dispozitivul PRBA (fig. 218) este conținut într-o carcasă din fontă *1* prevăzută cu un orificiu pentru trecerea tijei de tracțiune spre întreruptor.

În interiorul carcasei, pe consola *2*, sînt așezate un mecanism cu pîrghie și elementele care leagă mecanismul de placa de declanșare *3*. La partea inferioară a carcasei se află o cutie de relee *4*, prevăzută în partea din față cu comutatoare *5*, prin care se poate modifica numărul de spire al bobinelor releelor maximale. Tot în partea din față a cutiei de relee sînt montate clemele bobinelor electromagneților de declanșare sau ale releului de tensiune minimă. Comutatoarele și clemele se închid cu un capac *6*, prevăzut cu un orificiu de supraveghere.

În partea dreaptă a carcasei dispozitivului este prevăzută o clapetă de semnalizare *7*, care indică poziția mecanismului din dispozitiv. În partea stîngă a dispozitivului este montată o pîrghie *8* pentru legătura cu blocul contactelor auxiliare. Partea din față a carcasei dispozitivului se acoperă cu un capac *9*, prin care trec maneta de comandă *10* a dispozitivului, butonul releului de tensiune minimă *11* și șurubul opritor de reglaj *12*.

În poziția dispozitivului PRBA premergătoare operației de anclanșare (fig. 219 *b*) capătul clichetului *5* se găsește sub semiaxul pîrghiei *6*, iar capătul acesteia trebuie să se găsească în stînga, după placa de declanșare *7*. Pentru a aduce mecanismul dispozitivului în această poziție, maneta de comandă se lasă în jos pînă la șurubul opritor de reglaj *9*. Prin aceasta discul *11* (fig. 219 *a*) legat rigid cu maneta de comandă *1*, se rotește odată cu ea în sensul acelor de ceasornic, prin intermediul tijei *12*, abate capătul pîrghiei *6* dincolo de placa de declanșare *7*, iar capătul clichetului *5* cade sub semiaxul pîrghiei *6*.

Anclanșarea întreruptorului se realizează mișcînd maneta de comandă *1* de jos în sus. Maneta *1*, prin intermediul piesei *3*, rotește pîrghia principală *2* în jurul centrului fix provizoriu *4* și întreruptorul se anclanșează. Blocarea dispozitivului în poziția « anclanșat » (fig. 219 *c*) se obține după trecerea axului *8* dincolo de linia centrelor *a b*.

Declanșarea manuală a dispozitivului (fig. 219 *c*) se face mișcînd maneta de comandă de sus în jos. Odată cu aceasta, este antrenat și discul *11*, care atrage

după sine pîrghia *13*, legată de el prin fricțiune în punctul *17*. Pîrghia *13*, rotește placa *7*, capătul pîrghiei *6* se eliberează și sub acțiunea resortului *15*, acesta se rotește în sens invers acelor de ceasornic. Clichetul *5* scapă de sub semiaxul pîrghiei *6*, centrul fix provizoriu *4* se deblochează și pîrghia *2*, ne mai avînd un

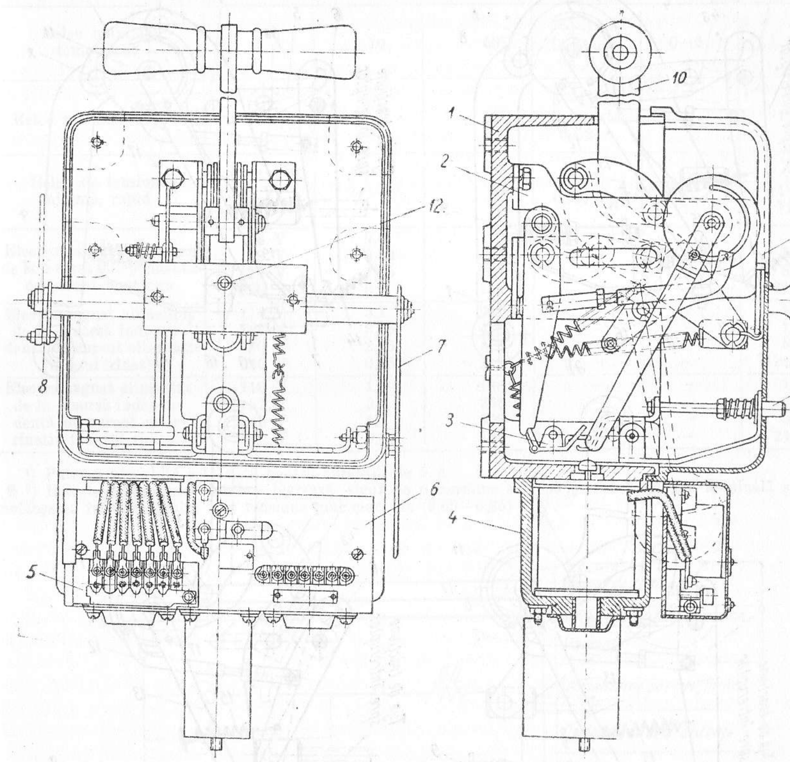


Fig. 218. — Secțiune prin dispozitivul de acționare tip PRBA.

punct de rotație fix, nu poate menține întreruptorul anclanșat. Sub acțiunea resoartelor proprii, întreruptorul declanșează.

Declanșarea automată și de la distanță se realizează prin elementele de declanșare ale dispozitivului de acționare. Cu excepția releelor maximale temporizate, elementele de declanșare acționează direct asupra plăcii de declanșare *7* prin piesa *10* fig. 219 *d*). Prin declanșarea automată sau de la distanță, maneta de comandă a dispozitivului de acționare continuă să rămînă ridicată.

Pentru semnalizarea de poziție, cum și pentru semnalizarea declanșării de avarie, dispozitivului de acționare PRBA i se pot adăuga contacte auxiliare comandate de poziția mecanismului dispozitivului de acționare (contactele notate în fig. 220 cu *I*) și contacte auxiliare comandate de poziția manetei de comandă (contactele notate în fig. 220 cu *D*)

Folosind aceste contacte, se realizează schema de comandă, supraveghere și semnalizare din fig. 220. Semnalizarea acustică a declanșării de avarie se face

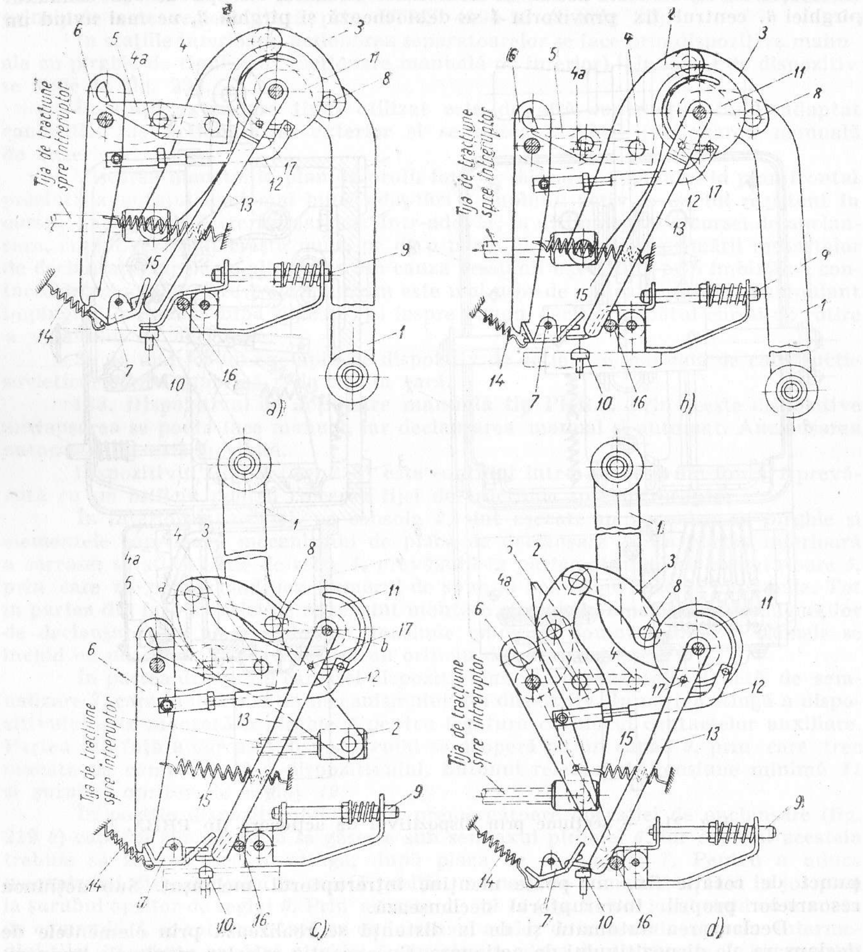


Fig. 219. — Mecanismul dispozitivului de acționare tip PRBA: *a* — poziție pregătitoare operației de anclanșare; *b* — poziție inițială în operația de anclanșare; *c* — poziția anclanșat; *d* — poziția declanșat automat.

printr-o hupă comună întregii instalații. Întreruperea semnalului hupei este realizată prin coborîrea manetei dispozitivului de acționare (deschiderea contactelor *D*). Caracteristicile elementelor de declanșare ale dispozitivului PRBA sînt date în tabela 34.

Tabela 34. Caracteristicile elementelor de declanșare incluse în dispozitivul PRBA

Denumirea elementului de declanșare	Tensiunea sau curentul nominal	Curentul admisibil sau stabilit A	Puterea absorbită VA	Limite de reglaj: Curent sau tensiune	Limite de reglaj: Timp s	Rezistența electrică la 20°C Ω
Releu maximal temporizat	5 A	10	50[1]	5–10 A în trepte de 1 A	0–5	0,3
Releu maximal rapid	5 A	15	50[1]	5–15 A în trepte de 2 A	—	0,27
Releu de tensiune minimă, rapid	110–127 V 220 V 380 V	—	30	(0,35 [2])–0,65) U_n	—	53 190 715
Electromagnet alimentat de la o sursă independentă de curent continuu	24 V 48 V 110 V 220 V	5,0 2,52 1,25 0,7	120 121 138 154	— — — —	— — — —	4,8 19 87,5 311
Electromagnet alimentat de la o sursă independentă de curent alternativ (miezul frînat)	110 V 127 V 220 V 380 V	3,1 3,45 2,15 0,85	341 440 473 312	— — — —	— — — —	18 18 51 210
Electromagnet alimentat de la o sursă independentă de curent alterrinativ (miezul ridicat)	110 V 127 V 220 V 380 V	1,8 2,1 1,4 0,48	198 266 308 182	— — — —	— — — —	18 18 51 210

[1]) Puterea absorbită este dată pentru curentul de 5 A.

[2]) Releele de tensiune minimă lucrează sigur la o tensiune sub 35% din tensiunea nominală și permit anclanșarea întreruptorului la o tensiune mai mare de (0,65–0,85) U_n.

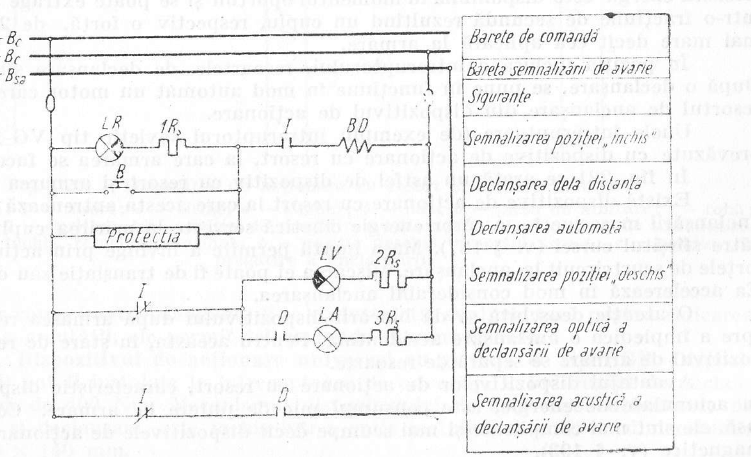


Fig. 220. — Schema desfășurată de comandă a unui întreruptor acționat cu dispozitiv tip PRBA: *LR* — lampa de semnalizare roșie; *LV* — lampa de semnalizare verde; *LA* — lampa de semnalizare albă (avarie); $1R_s$, $2R_s$, $3R_s$ — rezistențe suplimentare; *BD* — bobina de declanșare; *I* — contacte auxiliare ale întreruptorului; *D* — contacte auxiliare ale dispozitivului de comandă.

c) Dispozitive de acționare cu servomotor

189. **Principiul acumulării de energie pentru acționare.** La acționări cu comandă de la distanță sau în cazuri în care cuplul necesar închiderii unui întreruptor întrece cuplul care se poate exercita manual de către un om de putere obișnuită, se aplică acționarea cu ajutorul unui dispozitiv cu servomotor.

Dispozitivele de acționare prin servomotor trebuie să asigure funcționarea întreruptoarelor pentru care sînt destinate, la curentul de închidere al întreruptorului respectiv și anumite limite de tensiune indicate în tabela 2 din STAS 4195-53.

Timpul de acționare fiind de ordinul fracțiunilor de secundă puterea cerută este foarte mare și nu poate fi redusă decît prin acumulare mecanică, pneumatică sau electrochimică a energiei necesare.

În acest fel puterea necesară este invers proporțională cu durata de acumulare, conform formulei:

$$P = \frac{W}{t} \text{ [kW]}.$$

Acumularea mecanică se face cu greutăți (§ 190) sau resoarte (§ 191), cea electrochimică prin baterii de acumulatoare (§ 193) iar cea pneumatică prin rezervoare de aer comprimat (§ 198).

190. **Dispozitive de acționare cu resort** sînt indicate în stațiile și posturile de transformare în care nu se dispune de o sursă de curent electric suficient de puternică (transformator local sau baterie de acumulatoare).

Energia necesară anclanșării întreruptoarelor se înmagazinează într-un resort, care se armează manual sau printr-un electromotor.

Pentru a realiza de exemplu anclanșarea care consumă o energie de 10 kW, se poate întrebuința un motor de 1 kW care armează un resort de timp de 10 s. Această energie este disponibilă în momentul oportun și se poate extrage din resort într-o fracțiune de secundă rezultînd un cuplu, respectiv o forță, de 20—40 ori mai mare decît cea aplicată la armare.

În poziția închisă a întreruptorului, resoartele de declanșare sînt armate. După o declanșare, se pune în funcțiune în mod automat un motor care armează resortul de anclanșare din dispozitivul de acționare.

Unele întreruptoare (de exemplu întreruptorul sovietic tip VG-10M) sînt prevăzute cu dispozitive de acționare cu resort, la care armarea se face manual.

În fig. 221 se arată un astfel de dispozitiv cu resort și armarea manuală.

Există dispozitive de acționare cu resort la care acesta antrenează în timpul anclanșării mase inerte, a căror energie cinetică servește la mărirea cuplului activ către sfîrșitul cursei (v. § 187). Masa inertă permite a învinge prin acțiunea ei și forțele de scurtcircuit la anclanșare. Mișcarea ei poate fi de translație sau de rotație. Ea accelerează în mod considerabil anclanșarea.

O atenție deosebită se dă blocării dispozitivului după armarea resoartelor, spre a împiedica o anclanșare accidentală. Pentru aceasta, în stare de repaus dispozitivul de armare se separă de resoarte.

Avantajul dispozitivelor de acționare cu resort, caracteristic dispozitivelor cu acumulare de energie, este consumul mic de putere la armare. Constructiv însă, ele sînt mai complicate și mai scumpe decît dispozitivele de acționare electromagnetice (v. § 193).

191. **Dispozitivul de acționare cu greutate.** În cazul acumulării cu greutăți, schema și principiul sînt similare dispozitivelor cu resort. În loc de armare, mișcarea rotativă, exercitată manual sau printr-un motor electric, se transmite unei tobe cu cablu, a cărei rotație ridică prin intermediul unor role și scripeți greutatea în

poziția extremă. La anclanșare se ridică o piedică și greutatea, căzînd, antrenează dispozitivul de acționare și închide contactele principale. La sfîrșitul cursei se prevede o amortizare și se pune în funcțiune printr-un contact electromotorul de ridicare a greutății, dacă el există.

Aceste dispozitive permit automatizarea stațiilor echipate cu întreruptoare de 3—35 kV fără instalarea unor baterii de acumulatoare puternice sau a unei insta-

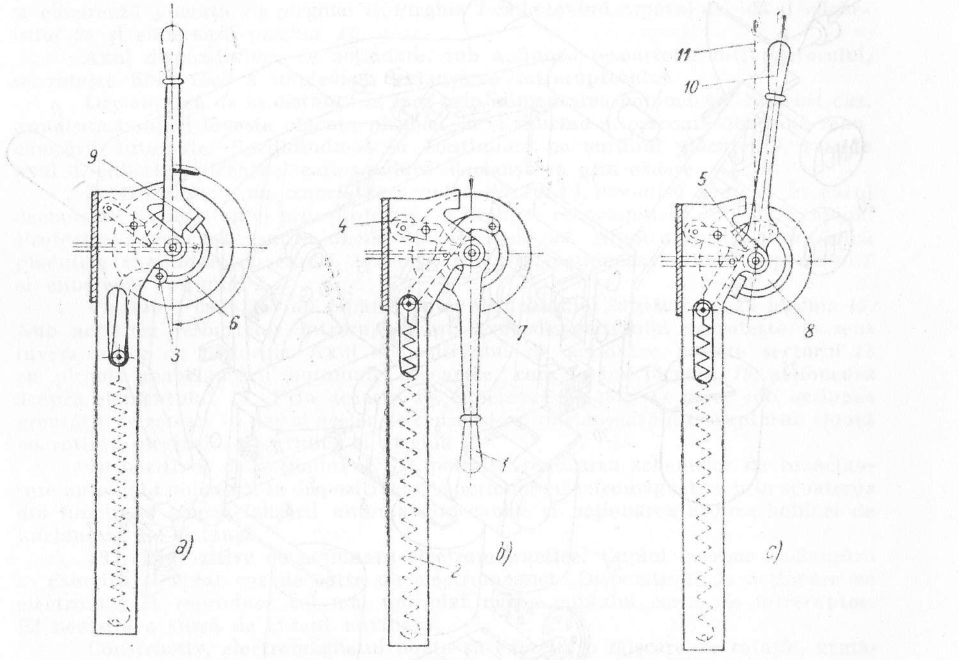


Fig. 221. — Dispozitiv de acționare cu resort și armare manuală:
1 — manetă; *2* — resort; *3* — cîrlig; *4* — clichet; *5* — nas; *6* — piesă de limitare; *7* — tobă; *8* — roată; *9* — opritor; *10* — poziția de pregătire a anclanșării; *11* — poziția de anclanșare. *a* — poziția închis, resortul desarmat; *b* — poziția deschis, resortul armat; *c* — poziția de pregătire a anclanșării.

lații de aer comprimat. Adăugîndu-li-se o instalație suplimentară pentru ridicarea automată a greutății, ele permit telecomanda întreruptoarelor.

192. **Dispozitivul de acționare universal cu grutate de tip UGP.** Dispozitivele UGP pot fi instalate la întreruptoare de orice tip, avînd cuplul de anclanșare maxim de 400 Nm. Mecanismul dispozitivului de acționare cu bobinele de anclanșare și declanșare, este închis într-o cutie metalică sudată, cu dimensiunile 400 × 320 × 140 mm.

Funcționarea dispozitivului se produce în următoarea succesiune. (fig. 222).

α) *Pregătirea pentru anclanșarea întreruptorului.* Se ridică greutatea (prin rotirea volanului în sens invers acelor de ceasornic) pînă la limita superioară și se zăvorăște. Odată cu rotirea volanului se rotește pîrghia *14* (liberă pe axul dispo-

zitivului) pînă la limită şi se blochează prin rola elementului *18*, menţinîndu-se armată. Rotirea volanului pentru ridicarea greutăţii poate fi făcută manual sau automat, cu ajutorul unui dispozitiv special (dispozitivul AMR).

β) *Anclanşarea întreruptorului.* Pentru anclanşarea întreruptorului pîrghia *14*, reţinută de rola dispozitivului *18* trebuie eliberată. Eliberarea se execută, la

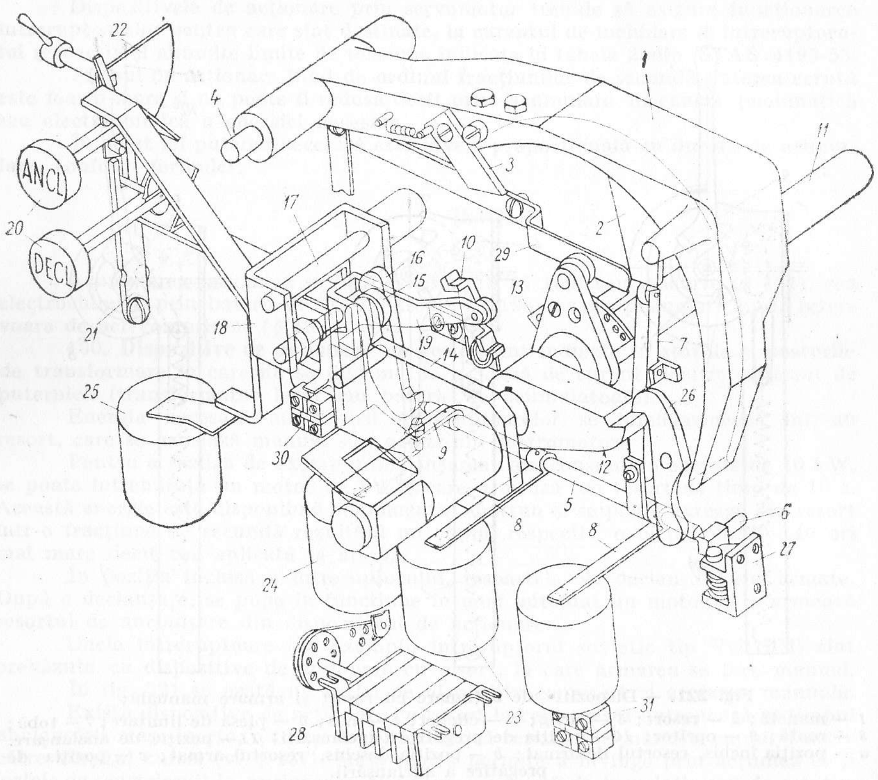


Fig. 222. – Dispozitiv de acţionare cu greutate tip UGP.

faţa locului, prin apăsarea butonului de anclanşare *20* sau, de la distanţă, prin alimentarea bobinei *25*.

Pîrghia *14*, rotindu-se sub acţiunea greutăţii în sensul acelor de ceasornic, apucă, prin sectorul *16*, pîrghia *12* şi o aduce pînă la blocarea ei de clichetul *26*. Pîrghia *12* fiind solidară cu axul *11* al dispozitivului îl roteşte şi pe acesta. În momentul iniţial de rotire pîrghia *14*, prin rola *15* care se sprijină pe plăcuţa *3*, ridică pîrghia *1*.

Pîrghia *1* se zăvorăşte prin rola suportului *7* şi dispozitivul este pregătit pentru declanşare la acţionarea protecţiei.

γ) *Declanşarea întreruptorului.* Declanşarea întreruptorului se execută la faţa locului prin apăsarea butonului de declanşare *20* sau, de la distanţă prin alimentarea bobinei *24*. În momentul iniţial de apăsare a butonului de declanşare, capătul din dreapta al pîrghiei *19* ridicîndu-se, iese din zona de angrenare cu rola sectorului *13* şi prin aceasta se blochează funcţionarea reanclanşării automate (*RA*). Prin apăsarea în continuare a butonului de declanşare, plăcuţa de jos a pîrghiei 19 ridică plăcuţa *9* şi roteşte axul *5*. Acesta rotindu-se apasă suportul *7* şi eliberează plăcuţa *2* a pîrghiei *1*. Pîrghia *1* cade lovind capătul de jos al clichetului *26* şi eliberează pîrghia *12*.

Axul dispozitivului de acţionare, sub acţiunea resoartelor întreruptorului, se roteşte liber fără a împiedica declanşarea întreruptorului.

Declanşarea de la distanţă se face prin alimentarea bobinei *24*. În acest caz, armătura bobinei loveşte plăcuţa pîrghiei *19* şi ridicînd-o, o scoate din zona reanclanşării automate. Sprijinindu-se în continuare pe şurubul plăcuţei *9*, roteşte axul *5*, eliberînd pîrghia *1* care produce declanşarea prin cădere.

δ) *Declanşarea cu reanclanşare automată (RA) mecanică rapidă.* În cazul declanşării dispozitivului prin protecţie, se produce reanclanşarea automată rapidă. Protecţia acţionează asupra uneia din bobinele *23*. Armăturile acestora ridică plăcuţele *8*, solidare cu axul *5*. Acesta, rotindu-se, acţionează asupra suportului *7* şi eliberează pîrghia *1*.

Pîrghia *1* cade, lovind capătul de jos al clichetului *26* şi eliberează pîrghia *12*. Sub acţiunea resoartelor întreruptorului, axul dispozitivului se roteşte în sens invers acelor de ceasornic. Axul dispozitivului de acţionare roteşte sectorul *13* cu pîrghia reanclanşării automate mecanice, care lovind pîrghia *19*, acţionează asupra elementului *18*. Prin aceasta se eliberează pîrghia *14* care, sub acţiunea greutăţii, se roteşte în sensul acelor de ceasornic şi anclanşează întreruptorul. Odată cu rotirea pîrghiei *14* se ridică şi pîrghia *1*.

Dispozitivul de acţionare UGP permite realizarea schemelor de reanclanşare automată obişnuite la dispozitivele de acţionare electromagnetice prin scoaterea din funcţiune a reanclanşării automate mecanice şi acţionarea asupra bobinei de anclanşare la distanţă.

193. **Dispozitive de acţionare electromagnetice.** Cuplul necesar anclanşării se exercită în acest caz de către un electromagnet. Dispozitivul de acţionare cu electromagnet reproduce cel mai apropiat curba cuplului cerut de întreruptor. El necesită o sursă de curent auxiliară.

Constructiv, electromagnetul poate să exercite o mişcare de rotaţie, armătura rotindu-se cu 90° într-o carcasă cu patru poli. În acest caz, mişcarea se poate transmite direct asupra axului de acţionare a întreruptorului.

Mult mai frecvent, mişcarea armăturii electromagnetului este de translaţie, forma lui fiind de tipul I cu bobină şi miez cilindric. Această dispoziţie este deosebit de simplă şi robustă şi are numeroase aplicaţii.

Consumul de energie este de circa 2 kJ, ceea ce corespunde la o durată de anclanşare de 0,25 s, unui cuplu de 250 Nm.

Mişcarea de translaţie a armăturii se transformă prin cremalieră şi roată dinţată în mişcare rotativă, care se transmite, direct sau prin transmisii mecanice, la axul de acţionare al aparatului de conectare. Forţa exercitată asupra armăturii creşte cu cît ea se apropie de polii elctromagnetului, deci de poziţia finală de anclanşare, ceea ce este favorabil, deoarece în această ultimă fază se închid contactele principale, cînd trebuie să fie învinsă şi presiunea resoartelor din contacte, în afară de aceea a resoartelor de declanşare. Totuşi, în ultima parte a cursei trebuie să se amortizeze mişcarea armăturii pentru a se evita deranjarea aparatului şi instalaţiei prin şocuri violente. Un contact de fine de cursă întrerupe curentul de excitaţie a bobinei.

Electromagnetul de declanşare este mult mai mic, rolul său fiind numai acela de a scoate doar piedica cuplajului de declanşare liberă.

Dispozitivele de acţionare electromagnetice permit comanda la distanţă a întreruptoarelor. Avantajele acestor dispozitive constau în simplitatea construcţiei, costul relativ redus şi siguranţa relativ mare în exploatare. Acţiunea lor este rapidă, timpul de anclanşare variind în funcţie de tipul întreruptorului, între 0,18—0,8 s.

Dezavantajul principal al acestor dispozitive constă în faptul că bobina de anclanşare consumă în timpul funcţionării un curent foarte mare, pe care trebuie să-l primească de la o sursă auxiliară independentă, în mod obişnuit de curent continuu. Aceasta necesită instalarea unor baterii de acumulatoare de mare capacitate şi a unor cabluri de forţă cu secţiuni mari [1]).

Dispozitivele de acţionare electromagnetice se pot construi şi pentru curent alternativ; în acest caz, dimensiunile lor devin mai mari, construcţia mai complicată, curentul de anclanşare mai mare, şi costul mai ridicat. De aceea în general, utilizarea curentului alternativ pentru acţionare şi comandă, este mai puţin indicată, cu atît mai mult cu cît la un scurtcircuit în reţeaua de curent alternativ, tensiunea la bornele dispozitivului respectiv poate să fie insuficientă pentru buna lui funcţionare. Dispozitivele electromagnetice de curent alternativ, au însă avantajul că nu necesită instalarea unor baterii de acumulatoare de mare capacitate.

În cele ce urmează se descrie un dispozitiv de acţionare de construcţie sovietică utilizînd curent continuu.

Tabela 35. Curentul absorbit de bobinele dispozitivului PS-10 pentru acţionarea diferitelor întreruptoare

Funcţiunea bobinei	VM-16 200 A		VM-16 600 şi 1 000 A		VMG 400—1 000 A		VM-D35 600 A	
	Tensiunea, V							
	110	220	110	220	110	220	110	220
	Curentul absorbit, A							
Anclanşare	110	50	116	58	195	97,5	195	97,5
Declanşare	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5

Observaţii : 1. Bobinele de declanşare cu tensiunea nominală de 24 şi 48 V, consumă un curent mai mare decît cele cu tensiunea nominală de 110 şi 220 V şi valoarea lui este invers proporţională cu valorile tensiunilor nominale.
2. Bobinele de anclanşare şi declanşare sînt calculate pentru un curent de scurtă durată.
3. Limitele de lucru ale bobinei de anclanşare sînt cuprinse între 80 şi 110% din tensiunea nominală, iar a bobinei de declanşare între 65% şi 120% din tensiunea nominală.
4. Pentru întreruptoarele din seria VMG şi VM-16 de 1 000 A limitele de lucru ale bobinei de anclanşare sînt cuprinse între 85 şi 110% din tensiunea nominală.

[1]) Curentul continuu necesar se poate produce şi cu ajutorul redresoarelor sau a grupurilor convertizoare, însă avînd în vedere puterea relativ mare cerută în scurt timp pentru fiecare acţionare, aceste surse trebuie să fie puternice.

194. Dispozitivul de acţionare electromagnetic tip PS-10. Acest dispozitiv este destinat pentru comanda întreruptoarelor avînd tensiunea nominală pînă la 35 kV inclusiv şi aparţine grupei de dispozitive care, în procesul de anclanşare, consumă energie direct de la o sursă auxiliară de curent continuu. Prin acest dispozitiv se poate face anclanşarea automată, declanşarea manuală şi automată.

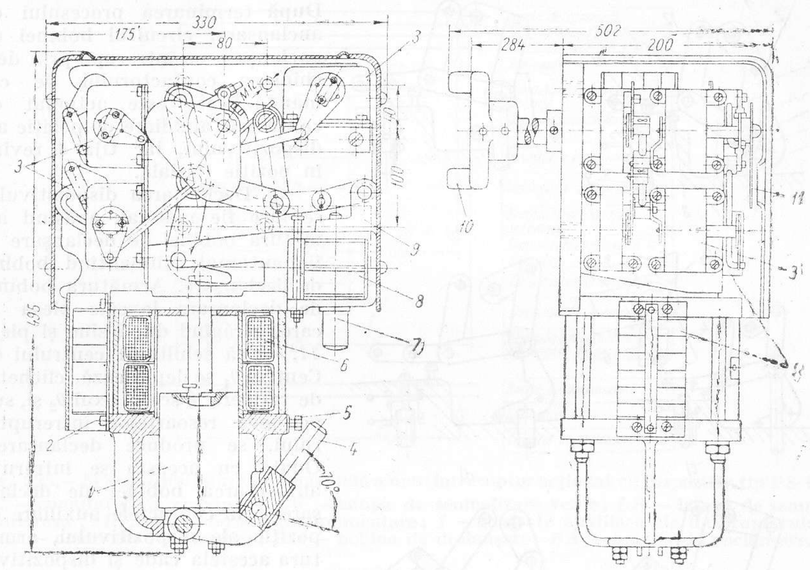


Fig. 223. — **Secţiuni prin dispozitivul de acţionare tip PS-10:**
1 — **miez magnetic;** *2* — **borne de legătură;** *3* — **contacte de semnalizare şi blocare;** *4* — **pîrghie pentru comanda manuală;** *5* — **bornă de legare la pămînt;** *6* — **bobina de anclanşare;** *7* — **buton pentru declanşare manuală;** *8* — **bobina de declanşare;** *9* — **cleme de şir;** *10* — **cuplă cu articulaţie;** *11* — **indicator de poziţie.**

Închiderea şi deschiderea circuitului de anclanşare a dispozitivului se realizează printr-un contactor de joasă tensiune de curent continuu tip KP-1002/MV.

Dispozitivul PS-10 aplicat întreruptoarelor instalate în exterior este montat, împreună cu contactorul de comandă a anclanşării şi cu clemele de legătură, într-un dulap metalic; el poartă în acest caz denumirea SPS-10.

După tipul întreruptorului pe care urmează să-l acţioneze, bobina de anclanşare a dispozitivului PS-10 este compusă dintr-una sau două secţii, cu tensiunea nominală de 110 sau 220 V. Bobina de declanşare este compusă din 2 secţii cu tensiunea nominală 110/220 V sau 24/48 V, curent continuu.

În tabela 35 sînt daţi curenţii absorbiţi de bobinele dispozitivului PS-10 pentru acţionarea diferitelor întreruptoare.

Ansamblul dispozitivului PS-10 este reprezentat în fig. 223.

Mecanismul dispozitivului (fig. 224) se compune din axul *1* solidar cu pîrghia *2*, trei piese identice *3*, *7* şi *12*, rola *5*, clichetul de reţinere *4*, două piese identice *10* şi *11* şi suportul reglabil *8*.

Anclanşarea dispozitivului se face alimentînd bobina de anclanşare. Armătura acesteia (fig. 224) acţionează asupra tijei *6* care ridică rola *5*. În procesul de anclanşare, piesa *7* se roteşte în jurul centrului de rotaţie fix provizoriu 0_1 şi pîrghia *2* sub acţiunea piesei *3* roteşte axul dispozitivului în sensul acelor de ceasornic. Clichetul de reţinere *4*, sub acţiunea axului 0_2 este condus spre stînga şi la sfîrşitul anclanşării intră sub acest ax. După terminarea procesului de anclanşare, circuitul bobinei de anclanşare se întrerupe prin deschiderea contactorului de comandă, care este acţionat de contactele auxiliare de poziţie ale dispozitivului, iar tija *6* revine în poziţie iniţială.

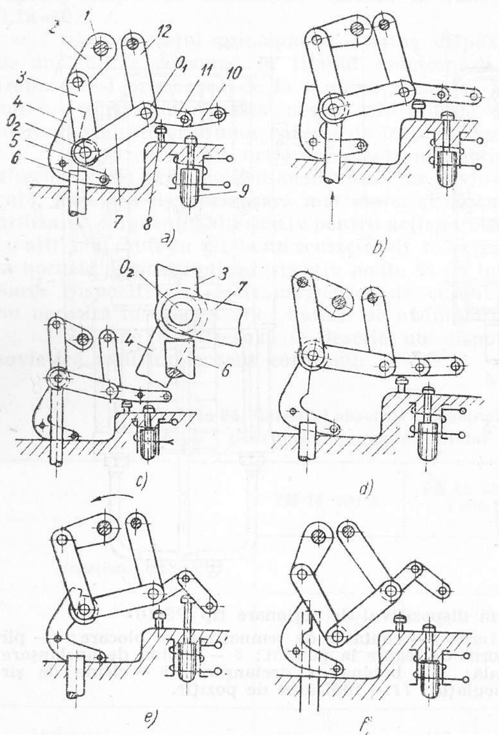


Fig. 224. – Mecanismul dispozitivului de acţionare tip PS-10:
a – dispozitivul declanşat, pregătit pentru anclanşare; *b* – în procesul de anclanşare; *c* – dispozitivul anclanşat, armătura ridicată; *d* – dispozitivul anclanşat; *e* – în procesul de declanşare; *f* – dispozitivul declanşat, armătura ridicată.

Declanşarea dispozitivului se face fie manual, apăsînd armătura bobinei de declanşare *9*, fie automat, alimentînd bobina de declanşare. Armătura bobinei de declanşare loveşte piesa *10* care, atrăgînd după sine şi piesa *11*, strică echilibrul centrului 0_1. Centrul 0_1 se deplasează, clichetul de reţinere *4* scapă axul 0_2 şi, sub acţiunea resoartelor întreruptorului, se produce declanşarea. Odată cu aceasta se întrerupe alimentarea bobinei de declanşare, prin contactele auxiliare de poziţie ale dispozitivului, armătura acesteia cade şi dispozitivul revine în poziţia iniţială.

Dispozitivul de acţionare PS-10 este prevăzut cu un blocaj mecanic care nu permite reanclanşarea întreruptorului dacă se produce o declanşare automată în timpul cît se continuă comanda de anclanşare. În schemele de comandă ale dispozitivelor electromagnetice care nu conţin astfel de blocări mecanice (de exemplu PS-30) se prevede blocarea electrică. Schema desfăşurată de comandă a unui întreruptor acţionat cu dipozitiv PS-10 este indicată în fig. 225, iar schema contactelor comutatorului de comandă în fig. 226.

195. Calculul siguranţelor din circuitul bobinei de anclanşare, a dispozitivelor de acţionare electromagnetice. Bobinele de anclanşare se protejează contra trecerii îndelungate a unui curent, pentru care ele nu sînt calculate, prin siguranţe fuzibile. Fuzibilele siguranţelor, în funcţie de caracteristica lor, se aleg astfel încît să nu se topească la trecerea prin bobină a curentului absorbit în procesul de anclanşare.

Dacă se notează cu t_p timpul propriu de anclanşare al întreruptorului împreună cu dispozitivul de acţionare şi admiţînd un coeficient de siguranţă K_s, timpul de topire a siguranţei se admite egal cu:

$$t = K_s\, t_p .$$

Coeficientul de siguranţă se ia $K_s = 1{,}5\ldots3$.

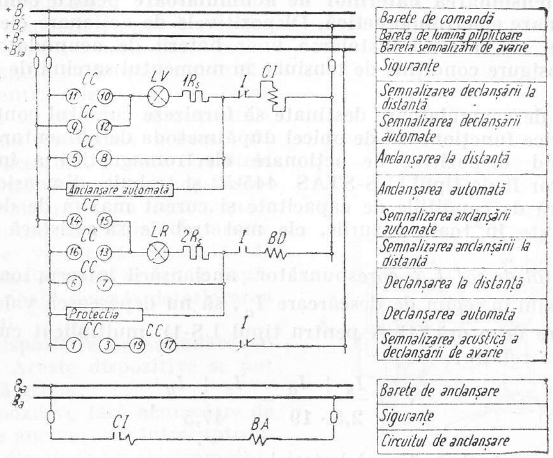


Fig. 225. – Schema desfăşurată de comandă a unui întreruptor acţionat cu dispozitiv tip PS-10: *CC* – comutator de comandă; *LV* – lampa de semnalizare verde; *LR* – lampa de semnalizare roşie; $1R_S$, $2\,R_S$ – rezistenţe suplimentare; *I* – contacte auxiliare ale întreruptorului; *CI* – contactor intermediar; *BD* – bobina de declanşare; *BA* – bobina de anclanşare.

Nr contactelor / Poziţia comutatorului	Poziţia manetei	1–3	2–4	5–8	6–7	9–12	11–10	14–15	16–13	19–17	18–20
Declanşat		–	×	–	–	–	×	×	–	–	×
Pregătit pentru anclanşare		×	–	–	–	×	–	×	–	–	–
Comanda de anclanşare		–	–	×	–	×	–	–	×	×	–
Anclanşat		×	–	–	–	×	–	–	×	×	–
Pregătit pentru declanşare		–	×	–	–	–	×	×	–	–	–
Comanda de declanşare		–	–	–	×	–	×	×	–	–	×

Fig. 226. – Schema contactelor comutatorului de comandă pentru cazul din fig. 225.

După caracteristica siguranţei, se determină raportul dintre curentul care provoacă topirea fuzibilului în timpul *t* şi curentul nominal al fuzibilului (multiplul curentului faţă de cel nominal corespunzător acestui timp):

$$K_t = \frac{I}{I_n}$$

Curentul nominal al fuzibilului se determină din relația:

$$I_n = \frac{I_s}{K_l}$$

în care I_s este curentul nominal al bobinei de anclanșare.

196. **Dimensionarea bateriilor de acumulatoare pentru comanda dispozitivelor de acționare electromagnetică.** Dispozitivele de acționare electromagnetică au dezavantajul că necesită instalarea unor baterii de acumulatoare puternice care trebuie să asigure condițiile de tensiune în momentul sarcinii de șoc produse la anclanșare.

Bateriile de acumulatoare destinate să furnizeze curentul continuu operativ în stațiile electrice funcționează de obicei după metoda de alimentare permanentă. În stațiile avînd dispozitive de acționare electromagnetică a întreruptoarelor aceste baterii vor fi de tipul LS-STAS 445-52 și trebuie dimensionate în consecință. În afară de condițiile de capacitate și curent maxim de descărcare, care trebuie satisfăcute în toate cazurile, ele mai trebuie să satisfacă și următoarele două condiții:

α) *Curentul de șoc I_s*, corespunzător anclanșării întreruptoarelor, însumat cu curentul maxim în regim de descărcare I_a, să nu depășească valoarea curentului de descărcare de o oră (19 A pentru tipul LS-1) multiplicat cu 2,5. Această condiție duce la relația:

$$N \geqslant \frac{I_s + I_a}{2,5 \cdot 19} = \frac{I_s + I_a}{47,5},$$

în care N este numărul de tip al bateriei.

β) *Tensiunea la bornele bobinei de anclanșare* să fie cuprinsă în limitele admise de furnizorul dispozitivului de acționare (de obicei între 1,1 și 0,8 din tensiunea nominală).

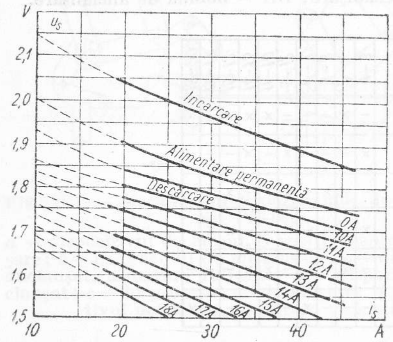


Fig. 227. — Tensiunea acumulatoarelor în funcție de sarcina de șoc, pentru diferite regimuri de funcționare.

Pentru verificarea acestei condiții se utilizează diagrama din fig. 227 care dă tensiunea la bornele unui element de acumulator în momentul unui curent de șoc $i_s = \frac{I_s}{N}$, în regim de încărcare (tensiune de încărcare 2,7 V), în regim de alimentare permanentă și după o oră de regim de descărcare, pentru diferiți curenți de descărcare $i_a = \frac{I_a}{N}$.

Cunoscînd pe I_s, I_a, N, cum și numărul de elemente conectate în serie prin comutatorul celular în fiecare din aceste trei regimuri de funcționare și ținînd seama de căderea de tensiune în conductori pînă la bornele bobinei dispozitivului de acționare, se verifică dacă este îndeplinită condiția minimului de tensiune la aceste borne, pentru toate cele trei regimuri de funcționare. Contrar se mărește N și secțiunile conductorilor.

Condiția este greu de îndeplinit în regim de încărcare, cînd numărul de elemente conectate în serie este redus și mai ales la stațiile la care mărimea bateriei

este determinată de dispozitivele de acționare electromagnetică a întreruptoarelor. În asemenea cazuri, pentru a nu se ajunge la dimensiuni neeconomice ale bateriei de acumulatoare, se admit uneori restricții la anclanșarea întreruptoarelor în timpul regimului de încărcare a bateriei: pentru a anclanșa un întreruptor, se întrerupe regimul de încărcare, se conectează prin comutatorul celular numărul de elemente necesare și apoi se execută comanda de anclanșare.

Aceste restricții nu pot fi admise în cazul anclanșărilor automate (reanclanșare automată, anclanșare automată a rezervei). Pentru a le evita, sau chiar numai pentru a micșora dimensiunile bateriilor, s-au imaginat scheme de conexiuni ale acestora, în care circuitele care alimentează dispozitivele de acționare a întreruptoarelor nu sînt conectate prin comutatorul celular. În aceste cazuri trebuie verificată condiția de tensiune maximă admisă, deoarece depășirea acesteia poate duce la deteriorarea întreruptorului.

197. **Dispozitive de acționare cu electromotor.** Aceste dispozitive se pot divide în două grupe:

— dispozitive fără acumulare de energie la care anclanșarea întreruptorului se execută direct de un electromotor;

— dispozitive cu acumulare de energie la care energia de anclanșare este acumulată în prealabil, în acumulatoare mecanice (resort volant, greutăți etc.).

Dezavantajul caracteristic al *dispozitivelor fără acumulare de energie* este consumul mare de putere la anclanșare. Constructiv, dispozitivele de acționare cu electromotor sînt mai complicate și mai scumpe decît dispozitivele de acționare electromagnetice și necesită o exploatare mai atentă.

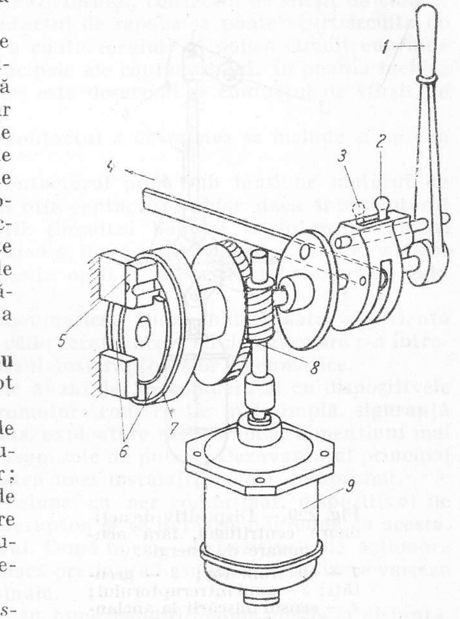


Fig. 228. — Dispozitiv de acționare cu electromotor, fără acumulare de energie:
1 — manetă de acționare; *2* — buton (poziția de acționare manuală); *3* — buton (poziția de acționare cu electromotor); *4* — bara de acționare a întreruptorului; *5* — clichet de sfîrșit de cursă; *6* — saboți de frînă; *7* — toba frînei; *8* — șurub fără sfîrșit; *9* — electromotor.

Un dispozitiv de acționare cu electromotor fără acumulare de energie este cel cu șurub fără sfîrșit care s-a reprezentat în fig. 228. Un alt dispozitiv este cel centrifugal. Motorul, cu excitație serie, pune în rotație un sistem de pîrghii dispuse în forma unui paralelogram. În părțile laterale ale paralelogramului sînt prevăzute greutăți, care se depărtează sub acțiunea forței centrifuge. Paralelogramul se turtește deplasînd tija care rotește manivela întreruptorului. În poziție anclanșată, întregul sistem este reținut de un clichet (neindicat în figură). După anclanșare, motorul este scos automat din circuit (fig. 229.)

Dispozitive de acționare cu acumulare de energie se construiesc pentru a micșora puterea electromotorului, acumulatorul de energie fiind cu inerție sau cu elasticitate. La dispozitivele de acționare cu inerție, motorul rotește un volant a cărui energie cinetică este utilizată pentru anclanșarea întreruptorului. Suc-

cesiunea operaţiilor la anclanşare este următoarea: de la pupitrul de comandă se pune în funcţiune motorul care antrenează volantul timp de aproximativ 10 s. La atingerea turaţiei normale, se închid contactele unui releu centrifugal montat pe axul dispozitivului, prin care se semnalizează în camera de comandă că dispozitivul este pregătit pentru anclanşare. De la pupitrul de comandă, se dă un impuls de comandă pentru anclanşare, prin care se cuplează, pentru o durată foarte scurtă, axul volantului cu mecanismul de transmisie a efortului de acţionare asupra întreruptorului; concomitent, se întrerupe alimentarea motorului.

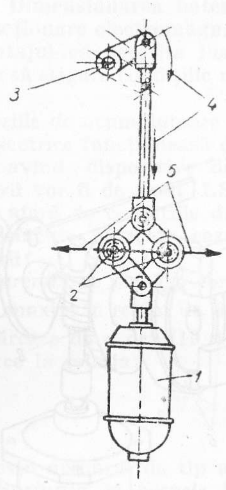


Fig. 229. — Dispozitiv de acţionare centrifugal, fără acumulare de energie:

1 — electromotor; *2* — greutăţi; *3* — axul întreruptorului; *4* — sensul mişcării la anclanşare; *5* — direcţia forţelor centrifuge.

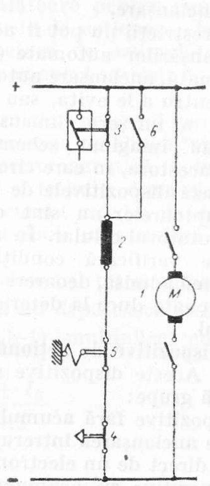


Fig. 230.— Schema principială a unui dispozitiv de acţionare cu resort:

1 — electromotor pentru armarea resoartelor; *2* — bobina contactorului; *3* — contact auxiliar de repaus al întreruptorului; *4* — contactul butonului de oprire; *5* — contact de sfîrşit de cursă (se închide după dezarmarea resoartelor); *6* — contact de reţinere a contactorului.

La unele dispozitive, impulsul de anclanşare nu se mai dă de operator printr-o comandă separată, ci se produce automat, în clipa cînd volantul a ajuns la turaţia prescrisă.

Puterea electromotorului unui astfel de dispozitiv de acţionare, este cuprinsă între 0,3—0,5 kW.

La dispozitivele de acţionare cu resort, pregătirea dispozitivului pentru anclanşare se face armînd resoartele cu ajutorul unui electromotor comandat de obicei de la distanţă. Resoartele sînt menţinute în stare armată de către un clichet special şi, în această poziţie, ele sînt cuplate solidar cu mecanismul de transmitere a mişcării la axul întreruptorului.

Pentru anclanşare, se pune sub tensiune, prin închiderea unui comutator de pe pupitru sau pe panou, o bobină de electromagnet care atrage clichetul şi eliberează resoartele; acestea produc anclanşarea întreruptorului (§ 190).

O schemă electrică a unui dispozitiv de acţionare cu resort se arată în fig. 230. Primul circuit înseriază între barele sursei auxiliare un contact auxiliar de repaus *3* al întreruptorului, bobina *2* a contactorului, contactul de sfîrşit de cursă *5* şi contactul butonului de oprire *4*. Contactul de repaus se poate scurtcircuita de către un contact auxiliar de reţinere *6* a contactorului. Al doilea circuit cuprinde numai motorul serie între contactele principale ale contactorului. În poziţia închisă a întreruptorului, resortul de anclanşare este desarmat şi contactul de sfîrşit de cursă închis.

La declanşarea întreruptorului, contactul *3* de repaus se închide şi bobina contactorului este excitată.

Prin contactele lui principale, contactorul pune sub tensiune motorul de armare. Contactorul se menţine în circuit prin contactul *6* chiar dacă întreruptorul se manevrează manual în timpul armării. Circuitul bobinei se întrerupe numai prin deschiderea contactului de fine de cursă *5*, după armarea completă a resoartelor de anclanşare, cînd motorul de armare este oprit şi dispozitivul de acţionare gata de funcţionare.

198. **Dispozitive de acţionare pneumatice.** După îndelungata experienţă a acţionărilor pneumatice în mine şi la căile ferate, acest fel de acţionare s-a introdus şi în staţii electrice, mai ales în cazul întreruptoarelor pneumatice.

Aceste dispozitive au următoarele avantaje, în comparaţie cu dispozitivele de acţionare eletromagnetică şi cu electromotor: construcţie mai simplă, siguranţă de funcţionare mai mare, cost mai redus, exploatare mai comodă, dimensiuni mai mici, lipsa şocurilor la anclanşare şi consum mic de putere. Dezavantajul principal al acestor dispozitive constă în necesitatea unei instalaţii de aer comprimat.

La întreruptoarele de înaltă tensiune cu aer comprimat, dispozitivul de acţionare face parte integrantă din întreruptor şi se livrează împreună cu acesta. El poate face corp comun cu întreruptorul. După norme, dispozitivele de acţionare trebuie să lucreze în bune condiţii, chiar dacă presiunea la supapa de utilizare variază cu + 10 % şi — 15 % faţă de cea nominală.

Dispozitivele pneumatice permit, în bune condiţii, comanda de la distanţă, aplicată la separatoare, în care caz se poate renunţa la transmisiile mecanice.

Elementul activ este un piston cu dublă acţiune care, împins de aerul comprimat într-o direcţie, provoacă anclanşarea, iar în cealaltă direcţie declanşarea, atît în cazul separatoarelor cît şi a întreruptoarelor. În acest caz se poate renunţa la resoartele proprii de declanşare a întreruptoarelor.

Pentru exemplificare, se descrie, în cele ce urmează dispozitivul de acţionare al întreruptorului de fabricaţie RPU tip PTK-401 de 10—30 kV.

199. **Dispozitivul de acţionare pneumatică a întreruptorului tip PTK.** Dispozitivul dc acţionare (poz. *1*—*19* din fig. 231) este dispus într-o carcasă *4*, care conţine supapele de declanşare *5* şi de anclanşare *15*. Aceste supape pot fi acţionate prin intermediul pîrghiilor de acţionare *8*, *12*, fie prin electromagneţii *7*, *13*, fie prin butoanele *9*, *11*. Pîrghiile de acţionare sînt legate de cîte un piston de reţinere *6*, *14* care menţine deschisă supapa de acţionare, pînă cînd manevra începută este complet terminată. Dispozitivul mai conţine clapeta de reţinere *1*, manometrul *3*, canaua de golire *2* şi regulatorul de presiune *10*. Alimentarea cu aer comprimat se face prin conducta *19*.

În fig. 231 întreruptorul este reprezentat în poziţie anclanşată. Pentru declanşare se apasă pe butonul de declanşare *9* sau se pune sub tensiune electromagnetul de declanşare *7*. Supapa de declanşare *5* se deschide, iar aerul comprimat trece prin ţeava de legătură *17* în cilindrul de acţionare *20* şi împinge în jos

pistonul *21*. Prin intermediul pîrghiilor de acţionare *24* şi *25*, pistonul trage în jos tijele de contact *26*. Prin intermediul articulaţiilor *27* şi *28* braţul de acţionare *29* ridică capacul supapei *30* şi aerul comprimat trece, prin ţevile de legătură *22* şi *23*, din rezervorul *31* la contacte. Astfel, arcul electric, care apare la desprinderea tijei de contact *26* de contactul *32*, este stins. După terminarea declanşării, aerul comprimat care a acţionat pistonul şi care se află în partea superioară a acestuia

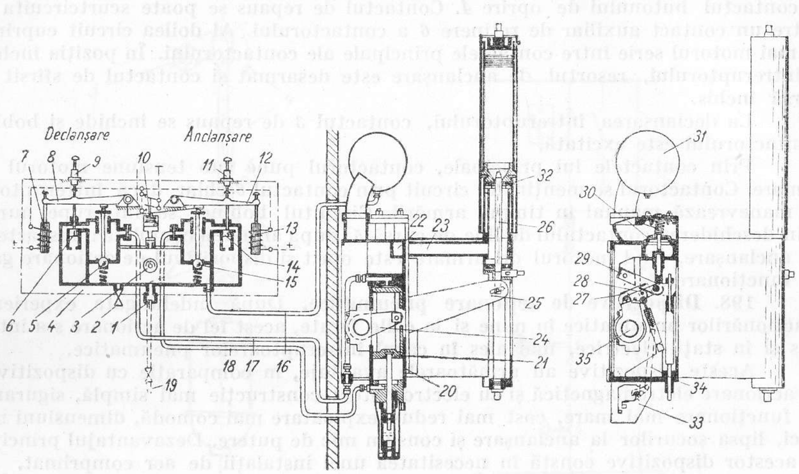


Fig. 231. – Acţionarea pneumatică a întreruptorului tip PTK.

şi în ţevile de legătură, trece în atmosferă prin nişte orificii făcute în cilindrul de acţionare.

Pentru anclanşare, se apasă pe butonul de anclanşare *11* sau se pune sub tensiune electromagnetul de anclanşare *13*. Supapa de anclanşare *15* se deschide, iar aerul comprimat trece prin ţeava de legătură *18* în cilindrul de acţionare *20* şi împinge în sus pistonul *21*. Prin intermediul pîrghiilor de acţionare *24* şi *25*, pistonul împinge în sus tijele de contact *26* şi le introduce în contactele *32*.

După terminarea anclanşării, aerul comprimat aflat în cilindrul de acţionare şi în ţevile de legătură trece în atmosferă prin orificiile cilindrului de acţionare.

Electromagneţii de declanşare şi anclanşare *7* şi *13* pot fi puşi în circuit numai în cazul unei poziţii corecte a contactelor auxiliare *33* legate prin tija *34* de axul *35*.

Regulatorul de presiune *10* are rolul de a împiedica anclanşarea sau declanşarea la o presiune insuficientă a aerului comprimat, semnalizînd totodată şi în camera de comandă orice presiune scăzută.

200. **Instalaţia de aer comprimat şi dimensionarea ei.** Centralele şi staţiile electrice, echipate cu întreruptoare cu aer comprimat sau cu dispozitive de acţionare pneumatică pentru întreruptoare şi separatoare, trebuie prevăzute cu instalaţii de producere şi distribuire a aerului comprimat. Elementele principale care compun o instalaţie de aer comprimat sînt: compresoarele, rezervoarele şi conductele de aer comprimat.

După normele cehoslovace CSN 305-52, debitul staţiei de compresoare se alege astfel încît să poată înlocui în circa 30 min. consumul de aer corespunzător unui ciclu anclanşare-declanşare la jumătate din totalul aparatelor de conectare (întreruptoare şi separatoare). Acestui consum i se mai adaugă şi cantitatea de aer comprimat necesară ventilaţiei întreruptoarelor. La întreruptoarele prevăzute cu reanclanşare automată se consideră cantitatea de aer consumată într-un ciclu complet declanşare-anclanşare-declanşare. Rezerva instalată într-o staţie de compresoare trebuie să fie de 50 %-100 %.

De obicei, o staţie de compresoare se compune din 2 compresoare egale, din care unul este normal în funcţiune şi acoperă necesităţile de aer comprimat conform indicaţiilor de mai sus, iar al doilea este de rezervă. Funcţionarea compresoarelor se automatizează complet, comanda lor pentru pornire şi oprire făcîndu-se prin manometre cu contacte, reglate la valorile maxime şi minime ale presiunii admise. La scăderea presiunii sub limita admisă, intră automat în funcţiune şi compresorul de rezervă. Se recomandă, conform normelor amintite mai înainte, ca staţia de compresoare să nu conţină mai mult de 3 agregate, urmînd ca la nevoie să se prevadă mai multe staţii de compresoare, convenabil dispuse şi legate între ele prin conducte de aer comprimat.

Compresoarele se dimensionează pentru a suporta o funcţionare continuă la puterea nominală timp de 3 h, fără a depăşi limitele de încălzire. Presiunea nominală a compresoarelor trebuie să fie de obicei circa de 2 ori presiunea de lucru a consumatorilor de aer comprimat. Pentru a asigura o funcţionare corectă a aparatelor (în special a întreruptoarelor), aerul comprimat debitat trebuie să fie cît se poate de uscat. Aceasta se realizează, pe de o parte prin reducerea presiunii aerului comprimat de la valoarea de producere la valoarea de utilizare, iar pe de altă parte, prin elementele de condensare care se prevăd în acest scop.

Capacitatea tuturor rezervoarelor de aer comprimat (exclusiv rezervoarele de pe întreruptoare) se alege astfel încît să fie suficientă pentru un ciclu anclanşare-declanşare a tuturor aparatelor de conectare, considerînd căderile de presiune admise între rezervoarele de diferite presiuni. De obicei, în instalaţiile de distribuţie echipate cu întreruptoare cu aer comprimat, se aleg, pentru fiecare presiune de serviciu, cîte 2 rezervoare de 1 000 l plasate lîngă staţia de compresoare. La instalaţiile de distribuţie echipate cu întreruptoare cu expansină, aceste rezervoare au cîte 500 l şi se dispun cît mai aproape de întreruptoare (maximum 10 m la 35 kv şi maximum 15 m la 110 kV). Pentru fiecare compresor se instalează cîte un rezervor de acumulare la presiunea de producere a aerului comprimat. Capacitatea acestor rezervoare se determină după cerinţele generale ale staţiei.

Distribuţia aerului comprimat se face prin conducte de cupru, calculate la presiunea de serviciu.

201. **Comparaţia dispozitivelor de acţionare cu acumulare.** La alegerea dispozitivelor de acţionare potrivite pentru aparatele de conectare, trebuie să se facă o analiză mai detaliată a condiţiilor impuse şi realizabile, a avantajelor şi dezavantajelor diferitelor sisteme. Pentru a uşura această alegere, în tabela 36 se compară cele trei sisteme cu acumulare de energie: electrochimică, elastică, şi pneumatică, din punctul de vedere al greutăţii lor şi a vitezei limită care poate fi atinsă.

Din comparaţie rezultă că spre a acumula aceeaşi cantitate de energie de 1 kJ (102 kgfm) bateria de acumulatoare are o greutate de 500 kg, resoartele de 15 kg fără carcasă, iar rezervorul de aer comprimat cîntăreşte numai fracţiuni de kilogram raportat la cantitatea de aer necesară pentru 1 kJ (102 kgfm). Transformarea energiei acumulate în energie cinetică comportă în cazul electromagnetului o greutate de 50 kg/kJ, iar la aer comprimat, numai 5 kg/kJ pentru cilindru şi piston.

Viteza cea mai mare, foarte importantă pentru acţionări, poate fi atinsă cu aer comprimat.

202. **Dispozitive de acţionare pentru reanclanşarea automată.** Statisticile arată că circa 70 % din defecte sînt trecătoare şi că, după o întrerupere de cel puţin

Tabela 36. Acumulatoare de energie pentru acționarea aparatelor de conectare

Parametru	Baterie de acumulatoare	Resoarte	Aer comprimat 10–20 at. 10–7 ats
Greutatea acumulatorului pentru o energie de 1 kJ (102 kgfm)	La descărcare șoc 500 kg (la descărcare în 3 h 0,025 kg)	14,7 kg fără carcasă	Rezervor 0,022 kg 0,12 kg volum 0 75 l 4,1 l
Greutatea dispozitivului de transformare a 1 kJ în energie mecanică	Electromagnet 50 kg	—	Cilindru și piston 5 kg
Viteza atinsă	3–4 m/s	max. 11,6 m/s practic 5–7 m/s (fără demultiplicare)	max. 330 m/s practic 10–30 m/s

12–20 perioade, liniile și instalațiile se pot repune în funcțiune normală. Pentru aceasta, se admite reanclanșarea automată a întreruptoarelor care au declanșat datorită unor suprasarcini sau scurtcircuite (v. § 159). În general se renunță la mai multe reanclanșări din motive de siguranță pentru rețea și întreruptor, avînd în vedere eficacitatea lor redusă.

Pentru a putea păstra sincronismul surselor și a nu permite decroșarea motoarelor sincrone și asincrone, reanclanșarea ar trebui să se producă după o pauză cît mai scurtă fără curent; totuși arcurile de conturnare datorite trăznetelor multiple și timpul necesar pentru desionizarea spațiilor de arc impun ca limită inferioară de timp aproximativ 0,20 s (10 perioade la 50 Hz), sub care reanclanșarea riscă să provoace reaprinderea arcului (v. § 41, 46 și 158).

La dispozitivele de acționare cu resort, reanclanșarea este totuși posibilă după o pauză minimă de 0,1 s (5 perioade la 50 Hz) ca și la cele electromagnetice și pneumatice. Construcția mecanismului cu resort devine mai complicată dacă se cere și posibilitatea de reanclanșare. Două reanclanșări în succesiune rapidă nu se pot realiza cu dispozitive de acționare cu resort. În schimb, acționarea electromagnetică și pneumatică permit reanclanșarea simplă și multiplă, monofazată sau trifazată, cu minime schimbări față de acționarea simplă.

La întreruptoarele pneumatice se mai adaugă un rezervor de aer comprimat suplimentar pe lîngă cel existent. Capacitatea acestui rezervor variază după numărul reanclanșărilor și numărul fazelor reanclanșate.

d) Dispozitive de blocare

203. **Necesitatea dispozitivelor de blocare.** În mare parte avariile și deranjamentele grave din instalațiile electrice de înaltă tensiune se datoresc manevrării greșite a separatoarelor. Pentru evitarea unor astfel de manevrări, se impun anumite condiții de blocare și liberare a manevrei separatoarelor. Aceste condiții sînt determinate de schema de conexiuni a stației (bare simple, bare duble etc.). În scopul îndeplinirii acestor condiții se utilizează dispozitive de blocare.

După natura lor, dispozitivele de blocare sînt: mecanice, electromagnetice și pneumatice.

204. **Blocarea mecanică** se aplică de obicei în stațiile de 3–35 kV.

Un principiu de blocare mecanică este reprezentată în fig. 232. Blocarea separatoarelor cu acționare manuală se efectuează cu ajutorul unor tije. Locașul tijei de blocare se fixează de dispozitivul de acționare. Tijele de blocare atacă o șaibă cu o scobitură care se arată în fig. 232 *a* și *b* în două poziții relative ale separatoarelor, astfel că numai unul din separatoare se poate deschide. În fig. 232 *c* se prezintă o blocare mecanică a separatoarelor cînd întreruptorul este închis.

Un alt sistem de blocare mecanică a comenzii separatorului ce poate fi larg utilizat în stațiile interioare de 3–10 kV cu un sistem, de bare este cel din fig. 233.

Blocarea este realizată pentru un întreruptor acționat cu dispozitiv manual de tipul sovietic PRBA și un separator acționat cu dispozitiv manual cu pîrghie (v. § 187). Dispozitivul de acționare al separatorului se află deasupra dispozitivului de acționare al întreruptorului, blocajul realizîndu-se prin suportul *5*, sudat de maneta *4* a dispozitivului de acționare a întreruptorului și tija *2*, sudată de maneta *1* a dispozitivului de acționare a separatorului. Prin aceasta se înlătură posibilitatea deschiderii separatorului atunci cînd dispozitivul de acționare al întreruptorului indică poziția anclanșată.

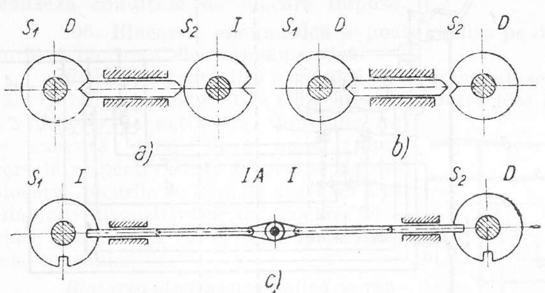


Fig. 232. — Principiul blocării mecanice:
a — blocarea reciprocă a separatoarelor, separatorul S_2 închis (*I*); *b* — blocarea reciprocă a separatoarelor, separatorul S_2 deschis (*D*); *c* — blocarea separatoarelor în funcție de poziția întreruptorului automat (*IA*).

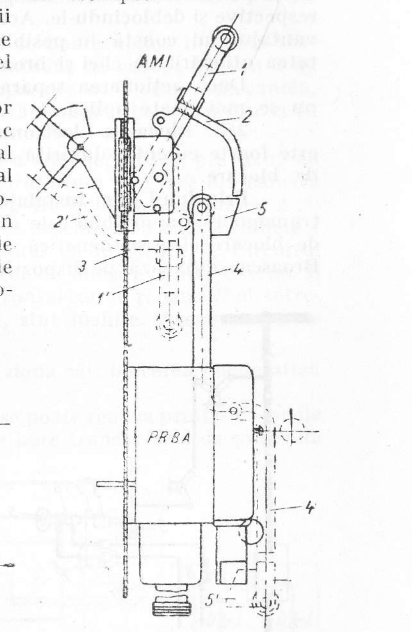


Fig. 233. — Blocarea mecanică între dispozitivul de acționare al întreruptorului (PRBA) și al separatorului (AMI):
1 — maneta dispozitivului de acționare a separatorului; *2* — tijă; *3* — orificiu; *4* — maneta dispozitivului de acționare a întreruptorului; *5* — suport (sudat de *4*).

Blocarea mecanică a comenzilor greșite a separatoarelor mai poate fi realizată și prin alte sisteme, dintre care se menționează *dispozitivul de blocare cu broască mecanică și cheie.* Pe dispozitivele de acționare a separatoarelor și întreruptorului se montează broaște mecanice speciale avînd toate același tip de cheie. Pentru toate broaștele se păstrează numai o cheie, introdusă de obicei în broasca întreruptorului. Cheia se poate scoate din broasca dispozitivului de acționare a întreruptorului numai cînd acesta este declanșat.

În poziția închisă a separatoarelor, broaștele respective blochează manetele lor de acționare și separatoarele nu pot fi deschise. După declanșarea întrerup-

torului, se scoate cheia din broasca dispozitivului său de acţionare şi se deblochează manetele dispozitivelor de acţionare ale separatoarelor, care acum pot fi deschise. Anclanşarea întreruptorului nu poate fi făcută decît după ce s-a introdus cheia în broasca dispozitivului său de acţionare. Se menţionează că broaştele montate la dispozitivele de acţionare a separatoarelor permit scoaterea cheii în orice poziţie a separatoarelor. Acţionarea separatoarelor însă, atît pentru închidere cît şi pentru deschidere nu poate fi făcută decît introducînd cheia în broaştele respective şi deblocîndu-le. Acest sistem de blocare are avantajul simplităţii. Dezavantajul lui constă în posibilitatea defectării cheii şi broaştei cum şi în necesitatea utilizării de chei şi broaşte diferite pentru celulele aceleiaşi staţii.

Dacă acţionarea separatoarelor se face de la distanţă, blocarea mecanică nu se mai poate aplica.

205. **Blocarea electromagnetică** cu electromagneţi şi armătură cu piedică este foarte curentă, datorită uşurinţei de a îndeplini pe cale electrică orice condiţii de blocare.

Principiul unei instalaţii de blocare electromagnetică utilizînd o cheie electromagnetică amovibilă este arătat în fig. 234. Părţile principale ale unui dispozitiv de blocare electromagnetică sînt broasca de blocare *2* şi cheia electromagnetică *5*. Broasca se fixează pe dispozitivul de acţionare al separatorului şi foloseşte pentru

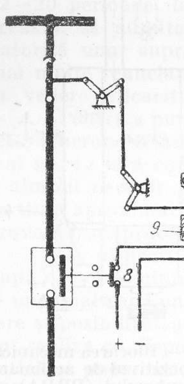


Fig. 234. — Schema unei blocări electromagnetice:
1 — maneta dispozitivului de acţionare a separatorului; *2* — broasca de blocare; *3* — ştift; *4* — priză; *5* — cheie electromagnetică; *6* — bobina cheii electromagnetice; *7* — fişă; *8* — contact auxiliar al dispozitivului de acţionare a întreruptorului; *9* — orificiu.

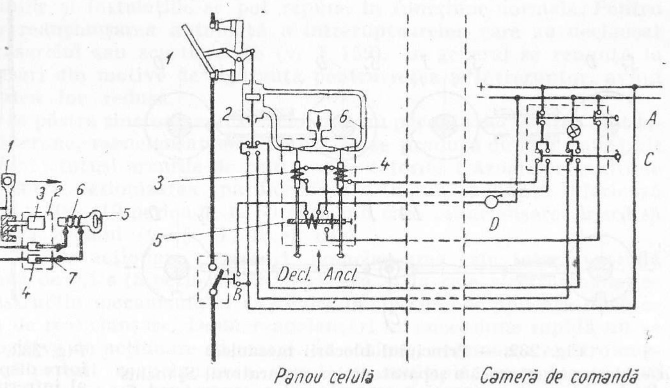


Fig. 235. — Schema unei blocări electromagnetice a unui separator cu acţionare pneumatică:
1 — separator; *2* — dispozitiv de acţionare pneumatică; *3*—*4* — electromagneţi de acţionare a ventilelor; *5* — electromagnet de blocare; *6* — conductă de aer comprimat: *A* — buton de acţionare a comutatorului de comandă; *B* — contact auxiliar; *C* — butonul de pregătire a comutatorului de comandă; *D* — întreruptor comun de deblocare generală.

blocarea acţionării acestuia prin ştiftul *3* care nu permite rotirea manetei. Priza *4* a broaştei este conectată, prin contactul auxiliar *8* al dispozitivului de acţionare a întreruptorului, la o sursă auxiliară de curent continuu; ea obţine tensiunea la ambele borne numai în poziţia deschisă a întreruptorului. Pentru deschiderea separatorului este necesară deblocarea broaştei dispozitivului său de acţionare. Aceasta se realizează introducînd cheia electromagnetică *5* în broasca *2* astfel încît fişa *7* a acesteia

să intre în priza *4* a broaştei. Dacă întreruptorul este deschis, atunci bobina cheii electromagnetice *6* este parcursă de curent, atrage ştiftul *3* şi broasca se deblochează permiţînd acţionarea separatorului.

În poziţia deschisă a separatorului, ştiftul *3* pătrunde în orificiul *9* al dispozitivului şi îl blochează. Închiderea separatorului se poate face deblocînd broasca, dar aceasta nu este posibil decît în poziţia deschisă a întreruptorului. Astfel, blocarea electromagnetică nu permite închiderea şi deschiderea separatoarelor în poziţia închisă a întreruptorului.

Blocarea electromagnetică cu cheie amovibilă se poate aplica în toate staţiile interioare sau exterioare unde există o sursă auxiliară de curent continuu de 110 sau 220 V. Dezavantajul acestui sistem, în comparaţie cu blocarea mecanică, constă în necesitatea instalării unor cabluri suplimentare cum şi în costul său ceva mai ridicat.

Fig. 235 arată schema de comandă la distanţă a unui separator, prevăzut cu dispozitiv de blocare electromagnetică. Comanda separatorului *1* se face din camera de comandă printr-un comutator de comandă *A*—*C*. Butonul de acţionare *A* al comutatorului comandă circuitul electromagnetului de deschidere *3* şi de închidere *4* a separatorului, după poziţia pe care o are butonul de pregătire *C*. Circuitul este stabilit însă numai în cazul cînd electromagnetul de blocare *5* este excitat şi contactul său închis. Acesta se întîmplă numai cînd contactul de repaus *B* al întreruptorului şi eventuale alte contacte în serie cu el, sînt închise. Aceste contacte realizează condiţiile de blocare impuse.

206. **Blocarea pneumatică** se poate realiza pe două căi: blocarea pneumatică pură şi blocarea electropneumatică.

Blocarea pneumatică pură fără electromagneţi se poate realiza printr-un joc de bare de blocare crestate în a căror crestături intră alte bare transversale de comandă a ventilelor de acţionare. Comanda nu se execută decît dacă bara transversală respectivă este în poziţie de deblocare. Jocurile de bare de acest fel sînt analoage dispozitivelor de blocare feroviare sau a celor de la teleimprimatoarele mecanice.

Blocarea electropneumatică se realizează de obicei cu ajutorul unor ventile de deblocare comandate electromagnetic, care întrerup accesul aerului comprimat la ventilele de acţionare. În fig. 236 se vede că ventilele de acţionare *D* şi *I* nu primesc aer comprimat, decît în cazul cînd ventilul de deblocare este deschis, ceea ce are loc numai cînd electromagnetul respectiv este excitat. Aceşti electromagneţi primesc curent printr-un contact auxiliar de repaus al întreruptorului. În acelaşi timp deschiderea oricărui separator este blocată cînd şi celălalt separator este închis.

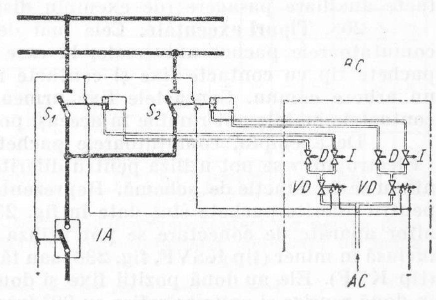


Fig. 236. — Schema unei blocări electropneumatice:
BC — bloc de comandă; *VD* — ventil de deblocare; S_1S_2, — separatoare; *IA* — întreruptor; *D* — ventil de deschidere; *I* — ventil de închidere; *AC* — aer comprimat.

e) Dispozitivele de comandă şi semnalizare ale aparatelor de conectare.

207. **Principii constructive.** Dispozitivul de comandă serveşte la transmiterea la distanţă a comenzii aparatelor de conectare.

Dispozitivele de comandă trebuie prevăzute cu:
— contacte operative destinate transmiterii comenzilor; aceste contacte trebuie să fie închise numai în timpul transmiterii comenzilor și să revină apoi în poziția inițială;
— contacte de semnalizare;
— un contact de avarie care să fie deschis numai în timpul comenzii de anclanșare.

Este necesar ca puterea de rupere a contactelor să fie suficientă pentru a întrerupe în mod sigur circuitele bobinei de comandă.

Din punct de vedere constructiv, se deosebesc dispozitive de comandă cu *butoane* și *rotative*.

La dispozitivele de comandă cu butoane, lansarea comenzii, cum și trecerea dispozitivului dintr-o poziție în alta se fac prin apăsarea butoanelor respective. Dezavantajul dispozitivelor de comandă cu butoane constă în faptul că ele nu permit să li se deducă poziția din poziția butonului. Indicatoarele de poziție existente la unele dispozitive nu sînt suficient de sugestive, se observă cu greutate de la distanță și nu pot fi introduse în schema oarbă de pe panourile de comandă.

La dispozitivele de comandă rotative, lansarea comenzii se face fie prin rotirea mînerului dispozitivului cu un unghi oarecare, fie prin tragerea acestuia, iar trecerea dispozitivului de comandă dintr-o poziție în alta se face prin rotirea mînerului.

Dispozitivele de comandă la care lansarea comenzii se face prin tragerea mînerului au următoarele dezavantaje:
— acționare incomodă în cazul instalării lor pe partea înclinată a pupitrelor de comandă;
— necesită introducerea în schema de comandă a unui releu suplimentar pentru a evita semnalizările de avarie false la comanda întreruptoarelor fără contacte auxiliare pasagere (de exemplu dispozitivul de comandă tip SQS).

208. **Tipuri executate.** Cele mai des utilizate dispozitive de comandă sînt comutatoarele pachet universale, la care sistemul de contacte este alcătuit din pachete tip cu contacte fixe și contacte mobile. Toate pachetele sînt montate pe un arbore comun. Contactele fixe urmează rigid arborele învîrtitor, în timp ce contactele mobile pot rămîne în aceeași poziție pentru diferite poziții ale mînerului.

De exemplu, comutatoarele pachet universale fabricate de uzina sovietică « Electropult » se pot utiliza pentru diferite scopuri, garnitura de contacte compunîndu-se în funcție de schemă. Reprezentarea schematică și diagrama contactelor pentru diferite pachete sînt date în fig. 237. Pentru comanda întreruptoarelor și a altor aparate de conectare se pot utiliza comutatoarele cu lampă de semnalizare inclusă în mîner (tip KSVF, fig. 238) sau fără lampă de semnalizare inclusă în mîner (tip KVF). Ele au două poziții fixe și două de revenire. Lansarea comenzii se face în două reprize și anume: rotire cu 90° (poziție fixă), cînd are loc comutarea contactelor de semnalizare și rotire ulterioară cu încă 45° (poziția de revenire), cînd contactele operative se închid. La întreruperea comenzii mînerul comutatorului se rotește cu 45° în sens invers (revenire). Astfel, aceste comutatoare au următoarele poziții:
— declanșat;
— pregătit pentru anclanșare (rotire cu 90°);
— comanda de anclanșare (rotire suplimentară cu 45°);
— anclanșat;
— pregătit pentru declanșare (rotire cu 90° în sens invers);
— comanda de declanșare (rotire suplimentară cu 45°).

Aducerea comutatorului în poziție de corespundere, după o declanșare automată, se poate face prin așezarea mînerului în poziția « pregătit pentru declanșare » (fără a se mai roti suplimentar cu 45°). După anclanșarea automată însă, este necesar să se efectueze operația completă de anclanșare (rotire cu 90° și rotire suplimentară), pentru a pregăti circuitul de semnalizare acustică de avarie, astfel încît semnalul acustic să poată funcționa în cazul unei declanșări automate ulterioare.

Nr. de tip al pachetului	Simbol	Nr. contactelor	Declanșat (revenire automată)	Poziție intermediară	Pregătit pentru anclanșare	Anulare (revenire)	Comanda de anclanșare	Anclanșat (revenire automată)	Poziție intermediară	Pregătit pentru declanșare	Anulare (revenire)	Comanda de declanșare
1	2 1 3 4	2-4	×	—	—	×	—	—	—	×	—	—
		1-3	—	—	×	—	—	×	—	—	×	—
4	2 1 3 4	1-2	—	×	—	—	—	—	×	—	—	—
		1-4	—	—	—	—	×	—	—	—	—	—
		2-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×
6	2 1 3 4	1-2	×	×	—	×	—	—	×	×	×	—
		1-4	—	—	×	—	×	×	—	—	—	—
		2-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×
7	2 1 3 4	2-4	×	—	—	×	—	—	—	×	—	—
		1-2	—	×	—	—	—	—	×	—	—	—
		1-3	—	—	×	—	—	×	—	—	×	—
		1-4	—	—	—	—	×	—	—	—	—	—
		2-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×
20	2 1 3 4	2-4	×	×	—	—	—	—	—	—	—	×
		1-2	—	—	×	×	—	—	—	×	×	—
		1-3	—	—	—	—	×	×	×	—	—	—
40	2 1 3 4	2-3	×	—	—	—	—	—	—	—	—	×
		1-2	—	×	×	×	—	—	×	×	×	—
		1-4	—	—	—	—	/	×	—	—	—	—
Poziția mînerului												

Fig. 237.— Schema și diagrama contactelor pentru diferite pachete ale comutatoarelor fabricate de uzina sovietică « Electropult ».

Se menționează și comutatorul universal sovietic UP, alcătuit de asemenea din pachete tip sau din secții care se așează pe un arbore comun. Fiecare secție are două contacte și un mecanism cu came cu ajutorul căruia, prin rotirea mînerului, se închid sau se deschid contactele. Aceste comutatoare se fabrică în două tipuri principale: cu revenire automată în poziție de zero și cu fixarea în fiecare poziție.

Numărul de poziții fixe variază în funcție de tip și destinație de la 2 pînă la 12 iar modul de asamblare al pachetelor este determinat de schemă.

209. **Calculul elementelor de supraveghere optică a stării circuitelor de comandă.** Supravegherea circuitelor de comandă ale întreruptoarelor se face prin introducerea lămpilor de semnalizare a poziției în serie cu bobinele de comandă ale dispozitivului de acționare (bobina de declanșare și bobina de anclanșare, eventual contactorul intermediar). Pentru a se evita o funcționare a dispozitivului de acționare, posibilă în cazul scurtcircuitării accidentale a lămpii de semnalizare respective, se montează cîte o rezistență suplimentară R_s în serie cu fiecare lampă de semnalizare.

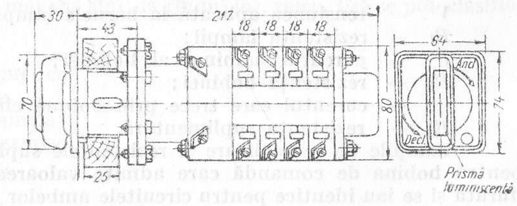


Fig. 238. — Comutatorul de comandă tip KSVF.

În stare de repaus tensiunea la bornele fiecărei bobine de comandă este limitată prin rezistența lămpii de semnalizare și prin rezistența suplimentară.

Dimensionarea lămpii și a rezistenței suplimentare respective trebuie făcută astfel încît tensiunea la bornele lămpii să asigure o lumină suficientă (tensiunea trebuie să fie cel puțin 60 % din tensiunea nominală a lămpii), iar în cazul scurtcircuitării lămpii să fie respectate următoarele condiții:

a) tensiunea la bornele bobinei să fie insuficientă pentru funcționarea ei;

b) curentul de lungă durată prin bobină să nu ducă la supraîncălzirea ei.

După datele uzinei sovietice « Electroaparat » curentul de durată prin bobinele de comandă nu trebuie să depășească 15 % din curentul nominal.

Respectînd această condiție, calculul elementelor de supraveghere se face în felul următor:

Condițiile indicate se exprimă prin relațiile:

$$i = 0{,}15\ I;$$

pentru siguranță se va considera:

$$i = 0{,}1\ I;$$

de asemenea:

$$V = 0{,}6\ U_n;$$

din relația:

$$i = \frac{U_r}{R_b + R_s} = 0{,}1\ I,$$

se calculează rezistența suplimentară:

$$R_s = \frac{U_r - 0{,}1\ I\ R_b}{0{,}1\ I};$$

din relația:

$$V = \frac{U_r\ R_l}{R_l + R_b + R_s} = 0{,}6\ U_n,$$

se calculează rezistența lămpii:

$$R_l = \frac{0{,}6\ U_n\ (R_b + R_s)}{U_r - 0{,}6\ U_n};$$

puterea lămpii este dată de relația:

$$W_l = \frac{U_n^2}{R\ l}.$$

În aceste relații:

U_r este tensiunea de alimentare;
U_n — tensiunea nominală a lămpii;
W_l — puterea nominală a lămpii;
V — tensiunea aplicată la bornele lămpii;
R_l — rezistența lămpii;
I — curentul nominal al bobinei;
R_b — rezistența bobinei;
i — curentul care trece prin bobină cînd lampa este scurtcircuitată;
R_s — rezistența suplimentară.

Lămpile de semnalizare și rezistențele suplimentare respective se calculează pentru bobina de comandă care admite valoarea cea mai mică a curentului de durată și se iau identice pentru circuitele ambelor bobine (anclanșare și declanșare).

În schemele care prevăd supravegherea stării circuitelor de comandă prin relee de supraveghere, calculul rezistențelor suplimentare se face analog, respectînd aceleași condiții.

Releul de supraveghere se alege astfel încît tensiunea la bornele sale să fie mai mare decît tensiunea de demarare $U_r > U_d$.

IV. APARATE DE PROTECȚIE A INSTALAȚIILOR ELECTRICE

A. Relee de protecție

a) Generalități

1. **Clasificare.** În instalațiile de protecție se utilizează, ca aparate principale, releele. Se numește releu aparatul căruia, dacă i se aplică la intrare o anumită mărime fizică (curent electric, presiune, temperatură etc.) poate să efectueze o anumită operație, care depinde de mărimea fizică de la intrare și care are un anumit scop, bine determinat. De exemplu, releul primește un curent electric și determină închiderea unui contact care comandă deschiderea unui întreruptor.

La protecția instalațiilor electrice se folosesc următoarele tipuri de relee:

— *relee electrice:* sînt acționate de o mărime electrică și exercită la ieșire o anumită operație;

— *relee termice:* sînt acționate de o mărime termică (căldură);

— *relee mecanice:* sînt acționate de o mărime mecanică (presiune, vid etc.).

Un ansamblu de relee care are scopul să protejeze contra eventualelor defectări, o instalație electrică oarecare, în cazul unui deranjament, sau să limiteze efectul deranjamentului, se numește « releu de protecție ».

Un releu de protecție este format din mai multe relee intermediare, complexul avînd rolul de a proteja anumite părți dintr-o instalație electrică.

Un releu de protecție se poate descompune în următoarele părți:

— elementul de pornire sau de demarare, care determină succesiunea lanțului de operații, cînd primește o anumită excitație stabilită;

— elementul de măsură, care măsoară mărimea aplicată releului de protecție și o compară cu parametrii stabiliți, determinînd, în funcție de această comparație acțiunea dorită;

— elementele ajutătoare, care permit transmiterea comenzilor între diferitele elemente de mai sus sau între releu și organul protejat.

Toate elementele descrise mai sus sînt, la rîndul lor, relee. Ele se pot clasifica în felul următor:

Relee electrice:

electromagnetice
de inducție
electrodinamice
electrice termice
electronice.

Relee termice:

termometrice cu contact
termometrice cu gaz
termometrice electrice.

Relee mecanice:

de nivel sau de presiune.

Fiecare dintre acestea poate fi:
— netemporizat, cînd acțiunea lui este independentă de timp;
— temporizat, cînd acțiunea lui este dependentă de timp.

Acțiunea rezultantă a unui releu din complexul unui releu de protecție constă, în general, în închiderea sau în deschiderea unui contact sau a unor serii de contacte.

În acest sens definim poziția normală a unui contact, situația în care se găsește acesta atunci cînd releul este neexcitat.

Contactele se pot grupa în:
— contacte normal deschise, fără temporizare la închidere sau deschidere;
— contacte normal deschise, cu închidere temporizată;
— contacte normal deschise, cu deschidere temporizată;
— contacte normal închise, cu închidere temporizată;
— contacte normal închise, cu deschidere temporizată.

Se vor analiza întîi releele componente și apoi ansamblul numit: releu de protecție.

b) Relee electrice

2. Releele electromagnetice se bazează pe principiul atracției unei piese metalice magnetice în interiorul unui cîmp magnetic creat de un curent. Se deosebesc două tipuri:

α) cu armătura basculantă;
β) cu solenoid.

α) *Tipul cu armătura basculantă* se bazează pe principiul atragerii unei armături metalice magnetice de către un electromagnet (fig 1). Piesa metalică mobilă se numește *armătură mobilă*, iar cea pe care se găsește bobina, *armătură fixă*.

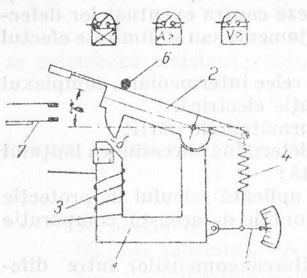


Fig. 1. — Releu electromagnetic cu armătură basculantă: *1* — armătură fixă; *2* — armătură mobilă; *3* — bobină; *4* — arc de reglaj; *5* — pîrghie de reglaj; *6* — opritor; *7* — contact.

Forța de atracție este:

$$F \cong k \frac{I^2}{\delta^2}, \tag{2.1}$$

în care I este curentul care străbate bobina;
δ — întrefierul;
k — un coeficient care depinde de diferiții parametri ai releului: număr de spire, inducție etc. (v. cap. I § 72).

Acestei forțe i se opune acțiunea unui arc; cînd echilibrul dintre cele două forțe este rupt, armătura basculează, închizînd prin aceasta un contact sau efectuînd o altă operație.

Din relația (2.1), rezultă că, în momentul cînd, armătura mobilă se găsește în poziția extremă (de repaus), întrefierul este maxim, deci forța este minimă; cu cît armătura se deplasează, această forță crește (scade δ). De aici rezultă că, pentru un releu cu armătura atrasă, forța este mult mai mare decît forța exercitată asupra armăturii, cînd aceasta este deslipită. Dacă se notează cu:

AS_l — amper-spirele necesare pentru ca releul să-și atragă armătura: *amper-spire de lipire* (sau excitare);
AS_d — amper-spirele necesare pentru ca armătura, fiind atrasă, releul să o poată libera: *amper-spire de deslipire* (sau desexcitare).

se poate defini raportul:

$$k = \frac{AS_d}{AS_l} < 1, \tag{2.2}$$

sau

$$k = \frac{i_d}{i_l} < 1, \tag{2.3}$$

în care i_d și i_l sînt curenții care străbat înfășurarea, avînd aceeași semnificație ca și amper-spirele.

Raportul k se numește și « factorul de revenire » al releului. În general:

$$k = 0{,}8 - 0{,}95 \tag{2.4}$$

cifrele apropiate de unitate arătînd releele cele mai bune.

Forța de atracție fiind proporțională cu pătratul curentului, rezultă că releele electromagnetice pot fi folosite, atît în curent continuu, cît și în curent alternativ.

În curent continuu, atît armătura mobilă, cît și cea fixă, se construiesc din oțel moale, masiv, deoarece I nu variază în timp. În curent alternativ, pentru a evita încălzirea datorită pierderilor prin curenți turbionari (Foucault) și pierderilor prin histerezis, ambele armături se execută din tole de dinam, izolate și împachetate în forma corespunzătoare.

În curent continuu, forța de atracție variază invers proporțional cu δ^2, curentul fiind constant; deci, variația forței cu întrefierul este hiperbolică. În curent alternativ, odată cu variația întrefierului variază și curentul, deoarece se modifică impedanța bobinei. Deci variația forței nu mai este hiperbolică, ea variind mult mai puțin cu δ. În fig. 2 sînt arătate aceste variații ale forței, cu δ; admițînd o variație liniară cu deplasarea forței arcului antagonist, rezultă că, pentru un anumit număr de amper-spire, pentru ca armătura să poată bascula, întrefierul maxim este mai mare în curent alternativ, decît în curent continuu.

$$\delta_{max\ c.a.} > \delta_{max\ c.c.} \tag{2.5}$$

Deci, în curent alternativ, releele vor avea întrefierul mai mare.

În curent alternativ, forța de atracție nu are o valoare constantă:

$$F = \frac{F_{max}}{2}(1 - \cos 2\omega t) \tag{2.6}$$

adică variază cu dublul frecvenței curentului de excitație. Rezultă că armătura mobilă va vibra forțat sau liber (rezonanță) cu această frecvență dublă. De aici, posibilitatea unei funcționări nestabile.

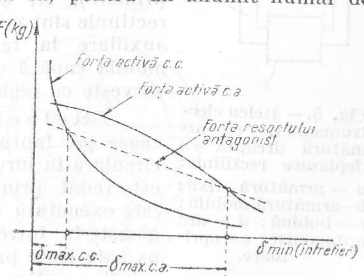


Fig. 2. — Curbele de variație ale forței de atracție a armăturii mobile la relee, în curent continuu și în curent alternativ.

Pentru a limita vibrațiile se introduce, pe o porțiune din secțiunea armăturii fixe, o spiră groasă de cupru închisă în scurtcircuit. Fluxul din acea porțiune fiind decalat față de fluxul dat de bobină, forța rezultantă de atracție va avea variații mult mai mici, ceea ce va reduce în mod simțitor vibrațiile (fig. 3).

Graficul variaţiei fluxurilor şi a forţelor este reprezentat în fig. 4.

Pentru preîntîmpinarea vibraţiilor se pot introduce şi amortisoare mecanice bazate pe principiul frecării semilichide. De exemplu, amortisorul 5 la releul din fig. 6.

Formele de execuţie ale releelor electromagnetice sînt foarte variate. Din punctul de vedere al armăturii mobile, se deosebesc:

— relee cu armătura dreaptă;
— relee cu armătura circulară.

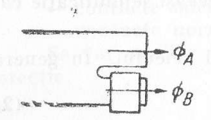


Fig. 3. — Reducerea vibraţiilor prin spiră în scurtcircuit:
a — spiră în scurtcircuit.

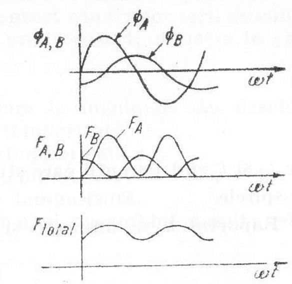


Fig. 4. — Graficul variaţiei instantanee a fluxurilor şi forţelor din întrefierul releului.

Releele cu armătura dreaptă sînt de două tipuri: cu mişcare rotativă în jurul unui punct şi cu armătura cu deplasare rectilinie. Cele cu armătura cu mişcare rotativă sînt cele mai folosite; tipul caracteristic este reprezentat în fig. 1. În repaus, amătura se sprijină de un opritor, fiind trasă de un arc; în momentul excitaţiei, armătura capătă o mişcare de rotaţie în jurul unui punct, prin aceasta apropiindu-se de armătura fixă. Tensiunea arcului şi deci reglarea curentului necesar pentru atracţie se face cu ajutorul unui şurub care întinde mai mult sau mai puţin arcul respectiv. Acest tip de relee se utilizează atît ca elemente de demaraj în relee de protecţie (în special la cele primare), cît şi ca relee ajutătoare. Releele cu deplasare rectilinie sînt mai puţin utilizate în protecţie şi numai ca relee auxiliare la releele de protecţie. La aceste relee, armătura mobilă capătă o deplasare rectilinie (fig. 5). Arcul antagonist serveşte ca reglaj al amper-spirelor necesare pentru atracţie.

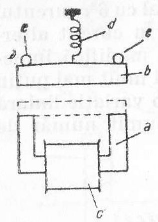


Fig. 5. — Releu electromagnetic cu armătură dreaptă cu deplasare rectilinie:
a — armătură fixă; *b* — armătură mobilă; *c* — bobină; *d* — arc antagonist; *e* — opritoare.

Releele cu armătură circulară se bazează pe faptul că armătura lor mobilă capătă o mişcare circulară în jurul unei axe de simetrie a armăturii. În fig. 6 este redat principiul unui astfel de releu; armătura mobilă este executată sub forma unei palete de oţel moale care se găseşte în întrefierul unui electromagnet şi e solidară pe un ax care trece prin axa de simetrie a paletei. Un arc antagonist spiral menţine în repaus paleta deviată faţă de axul polilor electromagnetului. În momentul excitaţiei, paleta va căpăta o mişcare de rotaţie, tinzînd să se plaseze în lungul liniilor de flux, mişcînd prin aceasta axul, care execută operaţia dorită. În curent alternativ, se mai introduce un tub amortisor umplut cu glicerină şi în care poate să se mişte un piston, fără a se freca de pereţi. Prin mişcarea axului se mişcă şi pistonul, solidar cu axul, prin aceasta realizîndu-se o frecare semilichidă, care amortisează vibraţiile.

Acest tip de releu se utilizează în special ca releu de protecţie voltmetric de tip secundar şi în cazurile în care se cere un factor de revenire k foarte ridicat [relaţia (2.4)], deoarece cu acesta se poate realiza un factor foarte apropiat de unitate.

Prin rotirea punctului fix al arcului spiral, cu ajutorul unui buton, se pot regla amper-spirele necesare pentru mişcarea armăturii mobile.

Un alt tip de releu, cu armătură circulară, este redat în fig. 7. Armătura fixă se realizează sub forma unui inel cu trei poli, asemănător cu statorul unei maşini de curent continuu.

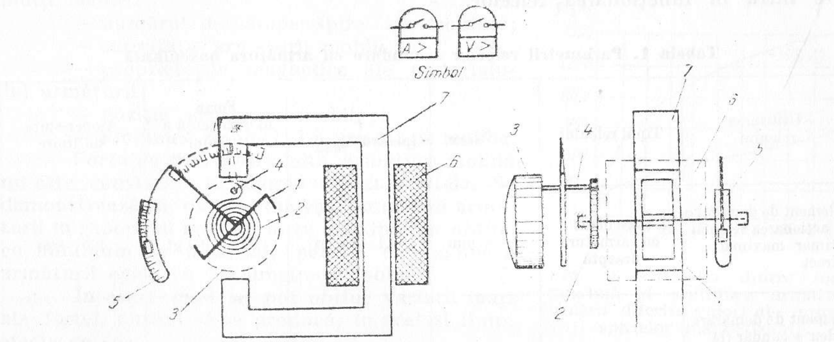


Fig. 6. — Releul electromagnetic cu armătură circulară (palete):
1 — piesă polară; *2* — arc; *3* — buton de reglare; *4* — opritor; *5* — tub de amortizare; *6* — bobină; *7* — armătură fixă.

O armătură mobilă de formă specială se poate roti în întrefierul polilor, poziţia sa de repaus fiind limitată de un opritor, iar armătura fiind supusă, în repaus, tensiunii unui arc spiral. În momentul excitaţiei, armătura basculează în jurul axului său, executînd operaţia dorită.

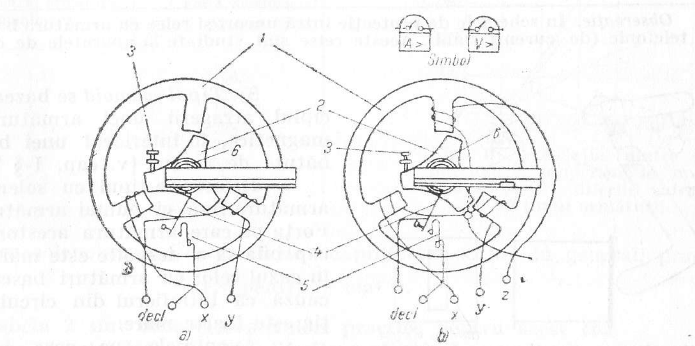


Fig. 7. — Releu electromagnetic secundar cu armătură rotativă circulară:
a — monofazat; *b* — trifazat; *1* — armătură fixă; *2* — armătură mobilă rotativă; *3* — şurub pentru reglarea poziţiei; *4* — contact mobil; *5* — contact fix; *6* — arc spiral antagonist.

Se foloseşte în special ca releu de demarare sau auxiliar în curent alternativ. Prezintă avantajul că poate fi bobinat atît pentru funcţionare monofazată (fig. 7, *a*), cît şi pentru funcţionare trifazată (fig. 7, *b*).

Calculul releelor electromagnetice cu armătura basculantă se face prin relaţiile date în capitolul I *Elemente de circuit*, care leagă amperspirele de magnetizare, de forţele electromagnetice. Se va calcula totdeauna forţa în primul moment, adică atunci cînd armătura ocupă poziţia de repaus.

În tabela 1, sînt daţi, pentru cîteva tipuri de relee, diferiţi parametri care intră în funcţionarea releelor.

Tabela 1. Parametrii releelor secundare cu armătura basculantă

Utilizarea releului	Tipul releului	δ_{max}	F (pentru δ_{max})	Forţa de rezistenţă a arcului (sau cuplul)	Amper-spire de lipire
Element de demarare şi acţionarea releului primar maximal direct	basculant cu armătura dreaptă	5—8 mm	0,1—0,4 gf	0,08—0,3 gf	400—800
Element de demarare releu secundar (la relee de distanţă etc.)	idem	3—5 mm	50—100 gf	20—40 gf	50—150
Element de demarare relee voltmetrice secundare	cu armătură circulară	2—3 mm	2—5 gf cm	1—3 gf cm	50—150
Relee auxiliare	cu armătura dreaptă	3—5 mm	10—50 gf	5—30 gf	150—300

Observaţie. În schemele de protecţie intră uneori şi relee cu armătura basculantă, de tipul telefonic (de curenţi slabi). Aceste relee sînt studiate la aparatele de curenţi slabi.

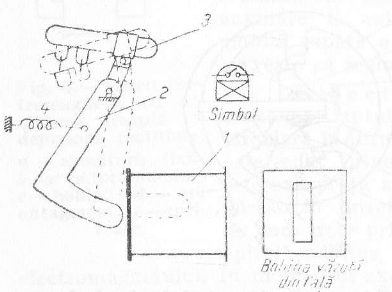


Fig. 8. — Releu electromagnetic de curent continuu, tip solenoid; *1* — bobină; *2* — armătură; *3* — contactor cu mercur; *4* — arc.

β) *Tipul solenoid* se bazează pe principiul atragerii unei armături metalice magnetice, în interiorul unei bobine străbătute de curent (v. cap. I § 72).

Releele de tipul cu solenoid nu au armătură fixă, ci numai armătură mobilă. Forţa pe care armătura acestor relee este capabilă să o desvolte este mai mică decît în cazul celor cu armături basculante, din cauză că întrefierul din circuitul magnetic este foarte mare.

Avantajele pe care le prezintă releele de tipul cu solenoid sînt:
— cursă mare;
— simplicitate în construcţie.

În general, se utilizează ca relee auxiliare de curent continuu sau ca relee de curenţi tari unde, pentru a se realiza o rupere a circuitului electric în bune condiţii, cursa mare a armăturii este necesară (fig. 8).

La construcţia unui releu de tipul solenoid trebuie să se ţină seamă de doi factori, şi anume:
— forţa utilă cerută,
— lungimea cursei pe care trebuie menţinută forţa.

Forţa utilă este greu de determinat, deoarece ea depinde de mai mulţi factori:
— numărul de amper-spire ale bobinei;
— suprafaţa armăturii mobile;
— proprietăţile magnetice ale materialului armăturii;
— poziţia armăturii mobile;
— lungimea bobinei şi a armăturii mobile.

Forţa pe care o desvoltă armătura mobilă nu este constantă în timpul cursei acesteia. Se demonstrează că, dacă se măreşte lungimea armăturii în raport cu bobina, forţa maximă se obţine cu minimum de material, pentru o lungime a armăturii egală cu 1,5 lungimea bobinei.

În acest mod se pot obţine variaţii mari ale forţei, putînd să se producă, în acelaşi timp, efecte de şoc.

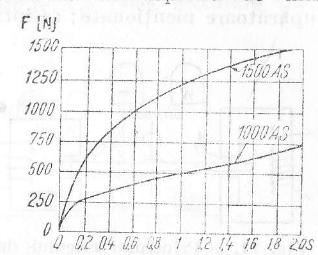


Fig. 9. — Relaţia dintre forţa maximă şi secţiunea armăturii pentru diferite valori ale amperspirelor magnetizante.

Secţiunea armăturii influenţează şi forţa pe care aceasta trebuie să o desvolte; în fig. 9 este reprezentată, grafic, relaţia dintre secţiunea armăturii şi forţa maximă pentru diferite valori ale amperspirelor magnetizante.

Tabela 2. Diametrul armăturii mobile la un releu solenoid pentru forţa maximă

Diametrul armăturii mobile, cm	Forţa maximă, N × 10^{-2}
1.11	56,5
1,6	113
1,9	170
2,22	228
2,22	280
2,6	340
3,2	450

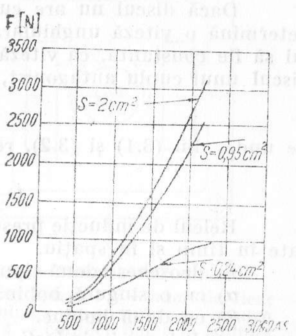


Fig. 10. — Relaţia dintre forţa maximă şi amperspirele magnetizante pentru diferite valori ale secţiunii armăturii.

Pentru solenoizii mici dela releele de protecţie se iau în general, practic:

1 N pentru 2 cm² [1]).

În tabela 2 sînt date cîteva valori practice pentru acest caz.

În fig. 10 este dată, pentru diferite secţiuni ale armăturii, relaţia dintre forţa maximă şi amperspirele magnetizante.

Releele de tipul cu solenoid, spre deosebire de cele cu armătură basculantă, nu prezintă posibilitatea ca, prin mijloace electromagnetice, să se reducă vibraţiile inerente la funcţionarea în curent alternativ. Aceste vibraţii ale armăturii mobile sînt, totuşi, mai puţin supărătoare decît la cele cu armătură basculantă, deoarece

¹) 1 Newton ≅ 0,102 kg forţă

masa armăturii mobile este mult mai mare deci, și, momentul de inerție este mai mare.

În cazul releelor cu armătură ușoară, aceste vibrații pot cauza funcționări incorecte. De aceea, releele de acest tip se echipează cu frîne mecanice: amortizoare pneumatice sau hidraulice care atenuează, în cea mai mare măsură, fenomenele supărătoare menționate; se introduc însă, în acest caz, temporizări în funcționare.

3. Releele de inducție se bazează pe forța electrodinamică ce ia naștere datorită inducerii, într-o piesă metalică, a curenților turbionari (curenți Foucault).

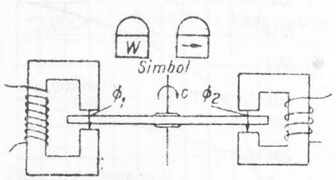


Fig. 11. – Principiul releului de inducție.

Dacă un disc de aluminiu sau de cupru (un metal nemagnetic, de rezistivitate mică) este situat în intrefierul a doi electromagneți, producînd fiecare în intrefier fluxul Φ_1 respectiv Φ_2, alternative, asupra discului (v. fig. 11) se va exercita un cuplu:

$$M_a = k_1 \; \Phi_1 \; \Phi_2 \; \sin \widehat{\Phi_1 \Phi_2}. \tag{3.1}$$

Dacă discul se poate roti în jurul axului său, acest cuplu va produce o mișcare de rotație; această mișcare a discului poate fi folosită pentru a închide un contact sau pentru a executa o altă operație.

Dacă discul nu are cuplu antagonist, el va fi supus unei accelerații care determină o viteză unghiulară continuu crescătoare; pentru a face ca mișcarea lui să fie constantă, ca viteză unghiulară, pentru Φ_1 și Φ_2, dați, se mai supune discul unui cuplu antagonist, produs de un magnet permanent:

$$M_a = k_2 \, \omega\,, \tag{3.2}$$

de unde, din (3.1) și (3.2), rezultă:

$$\omega = k \cdot \Phi_1 \; \Phi_2 \; \sin \widehat{\Phi_1 \Phi_2}. \tag{3.3}$$

Releul de inducție presupune deci existența a două fluxuri alternative, decalate în timp și în spațiu.

Se deosebesc două tipuri de relee de inducție:

α) cu o singură bobină;

β) cu două bobine.

α) *Releele de inducție cu o singură bobină* sînt utilizate, cînd este necesar ca mișcarea discului să fie în funcție de o singură mărime electrică: tensiune sau curent. Deoarece însă funcționarea nu este posibilă cu un singur flux, se recurge la introducerea unei spire în scurtcircuit pe o porțiune a secțiunii de fier, la marginea întrefierului. Prin aceasta se obține un al doilea flux, decalat față de primul în spațiu și în timp, realizîndu-se astfel un cuplu:

$$M_a \approx k' \, \Phi^2 \tag{3.4}$$

sau

$$\omega = k_1' \, \Phi^2, \tag{3.5}$$

în care Φ este valoarea fluxului principal.

Se demonstrează că valoarea constantei k' este aproximativ egală cu

$$k_1' \approx \frac{\pi f}{r \; k_2}, \tag{3.6}$$

în care f este frecvența;

r — raza de la centrul discului la axul bobinei;

k_2 — constanta de frînare a magnetului permanent.

Observație: Aceste relee au o mișcare a discului produsă totdeauna spre spira în scurtcircuit (fig. 12).

Spira în scurtcircuit se va plasa totdeauna pe cel mult jumătate din suprafața fierului, în marginea întrefierului.

Releele de inducție cu o singură bobină sînt folosite ca elemente de măsură (tensiuni sau curent) și uneori, ca elemente de pornire. Ca relee auxiliare nu se folosesc, decît ca elemente de timp.

β) *Releele de inducție cu două bobine* funcționează după principiul indicat mai înainte. Ele presupun deci două mărimi electrice aplicate releului: un curent și o tensiune, doi curenți sau două tensiuni. Mișcarea discului nu va avea un sens determinat, ci un sens dependent de unghiul de decalaj dintre cele două fluxuri. Se utilizează ca elemente de măsură și auxiliare în relee de protecție; foarte rar ca elemente de pornire.

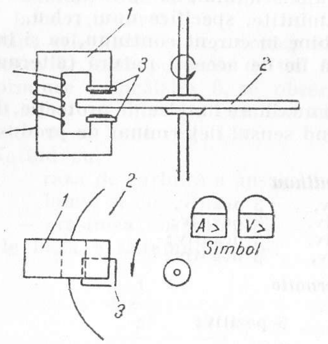


Fig. 12. — Releu de inducție cu o singură bobină; 1 — electromagnet; 2 — disc; 3 — spire în scurtcircuit.

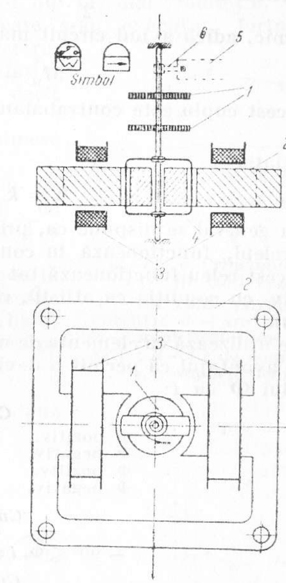


Fig. 13. — Releu electrodinamic: 1 — arcuri spirale; 2 — miez de fier; 3 — bobinaje de curent; 4 — cadru mobil; 5 — contact fix; 6 — contact mobil.

În general, la releele de inducție de la releele de protecție, cuplul exercitat asupra discului este de circa:

$$M_a = 0{,}5 - 5 \text{ N.m.}^{1)} \tag{3.7}$$

Releele cu o singură bobină funcționează deobicei cu fierul saturat astfel încît:

$$\Phi \approx ct \tag{3.8}$$

și deci

$$\omega \approx ct, \tag{3.9}$$

independent de curentul care străbate bobina.

4. Releele electrodinamice se bazează pe cuplul electrodinamic care se exercită asupra unei bobine mobile, străbătută de un curent i, cînd se găsește în cîmpul magnetic al unei alte bobine fixe (fig. 13).

¹) sau 5–50 g cm

Dacă i este valoarea curentului care străbate bobina mobilă (4 din fig. 13) Φ este fluxul bobinei fixe, iar α este unghiul dintre direcția fluxului și axul perpendicular pe planul bobinei, cuplul electrodinamic este:

$$M_a = k_1 \Phi\, i \cdot \sin \alpha \cos \widehat{\Phi, i}.$$

Pentru a avea $\alpha = \frac{\pi}{2}$ și un cuplu cît mai mare, se recurge la sistemul ferodinamic, adică avînd circuit magnetic forțat în care caz:

$$M_a = k_1 \Phi \cdot i \cos \widehat{\Phi, i}.$$

Acest cuplu este contrabalansat de un arc

$$M_r = k_2 \beta$$

deci deviația

$$\beta = k \cdot \Phi \cdot i \cdot \cos \widehat{\Phi, i}.$$

În general se dispune ca, prin rotația β a axului, să se închidă un contact și deci releul, funcționează în condițiile amintite, specifice unui releu.

Acest releu funcționează tot atît de bine în curent continuu, ca și în curent alternativ, cu condiția ca atît Φ, cît și i să fie de aceeași natură (alternativ sau continuu).

Se utilizează ca elemente de măsură și auxiliare în relee de protecție, deoarece prezintă avantajul că permit o deviație avînd sensul determinat de produsul algebric al lui Φ cu i:

Curent continuu

Φ pozitiv, i pozitiv, β pozitiv,
Φ negativ, i negativ, β pozitiv;
Φ pozitiv, i negativ, β negativ;
Φ negativ, i pozitiv, β negativ;

Curent alternativ

$$-90° \leqslant \widehat{\Phi, i} \leqslant +90°, \quad \beta \text{ pozitiv};$$

Curent alternativ

$$+90° \leqslant \widehat{\Phi, i} \leqslant -90°, \quad \beta \text{ negativ},$$

Din aceste cauze, se folosește în primul rînd ca element direcțional.

5. **Releele electrice termice** se bazează pe fenomenul cunoscut al dilatației unui metal supus încălzirii. Încălzirea necesară pentru a se obține dilatația dorită se face trecînd curentul electric prin masa metalului respectiv.

Se deosebesc: relee electrice termice:

α) cu fir cald

β) cu lamă din bimetal.

α) *Releele cu fir cald* se bazează pe dilatația datorită încălzirii unui fir conductor sau semiconductor, străbătut de un curent electric (fig. 14). Prin dilatare, firul capătă o deformație în sensul forței de tracțiune al unui arc antagonist; rezultă că punctul de joncțiune fir-arc capătă o deplasare care realizează operația urmărită.

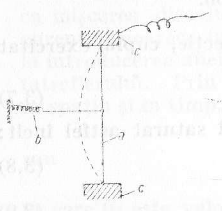


Fig. 14. — Principiul releului cu fir cald: *a* — fir cald; *b* — arc; *c* — piese nedilatabile.

Pentru ca releul să fie făcut insensibil la variațiile de temperatură ale mediului ambiant, se realizează o compensare cu ajutorul unui alt fir, identic cu firul cald, dar care nu este străbătut de niciun curent, ci este supus numai temperaturii mediului ambiant

(fig. 15); în acest fel, deplasarea utilă va rezulta numai prin deplasarea relativă ale celor două extremități ale arcului care nu este funcție decît de curentul care străbate firul cald.

Firul se execută din aliaj de nichel (crom-nichel, nichelină etc.) sau din nichel pur. Piesele de fixare a firelor trebuie să fie nedilatabile și, deacea, se confecționează din materiale speciale (invar).

În protecție, releul termic cu fir cald nu se mai folosește, avînd o funcționare nesatisfăcătoare; în construcțiile care s-au executat, forța arcului antagonist era înlocuită de forța unui releu electromagnetic auxiliar, care execută și comanda dorită (fig. 29). Tipul compensat nu se construiește decît foarte rar.

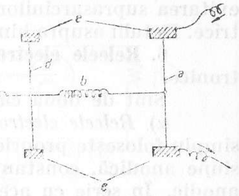


Fig. 15. — Principiul releului cu fir cald compensat: *a* — fir cald (străbătut de curent); *b* — arc antagonist; *c* — arcul firului de compensație; *d* — fir de compensație; *e* — suporți nedilatabili.

β) *Releele cu lamă din bimetal* se mai numesc și de tipul « bimetal ».

Se compun în esență, din două lame de materiale (metale) diferite, avînd coeficienții de dilatație diferiți, laminate împreună și formînd o singură lamă (unitară).

Dacă cele două lame, presupuse ca plane la temperatura θ_0, sînt parcurse de un curent electric care le produce o încălzire θ, se observă o curbare, în sensul lamei cu dilatația cea mai mică, a ansamblului celor două lame (fig. 16).

Notînd cu:

ρ — raza de curbură a ansamblului celor două lame, și cu

e — grosimea ansamblului,

relația de bază a sistemului este:

$$\frac{d\dfrac{1}{\rho}}{d\theta} = \frac{V}{e}, \qquad (5-1)$$

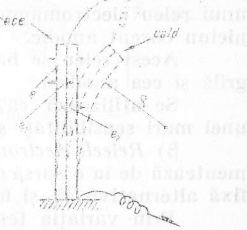


Fig. 16. — Principiul funcționării releului cu lamă bimetalică.

iar coeficientul V este egal cu:

$$V = \frac{2}{3}\left|1 + \frac{[E_1 e_1^2 - E_2 e_2^2)^2}{4e^2 E_1 e_1 E_2 e_2}\right|^2,$$

în care E_1 și E_2 sînt modulii de elasticitate ai metalelor lamelor respective (în N/cm^2 sau în kgf/cm^2);

e_1 și e_2 — grosimile fiecărei lame în parte, în cm;

$d\theta$ — variația de temperatură.

Dacă:

$$\frac{e_1}{e_2} = \sqrt{\frac{E_2}{E_1}},$$

V devine minim și deci deformația este maximă.

Cele două lame se execută, deobicei, din materiale cu coeficienți de dilatație cît mai diferiți. Pentru a se obține o încălzire cît mai mare, trebuie să existe totodată și o rezistivitate cît mai mare a ansamblului.

Aceste relee sînt caracterizate printr-un efort mare, pe care sînt capabile să-l desvolte.

Lama bimetal se execută în diferite forme (fig. 17). Ea poate avea: forma dreaptă, clasică (fig. 17, *a*); forma în U (fig. 17, *b*); forma în spirală (fig. 17, *c*).

Cînd este necesară o deplasare liniară mare şi, totodată, o forţă mare, se utilizează sistemul din fig. 18, care este format dintr-o coloană de mici lame bimetal, menţinute lipite de presiunea unui arc. Se obţine astfel o deplasare a dopului *4*, egală cu suma deplasărilor fiecărei lame în parte.

Se utilizează ca element de pornire la releele de protecţie, în special pentru evitarea suprasarcinilor mici, dar de lungă durată, la maşinile şi la instalaţiile electrice. Detalii asupra bimetalului s-au dat în cap. III § 87.

6. **Releele electronice** se bazează pe proprietatea de releu a tuburilor electronice.

Sînt de două categorii: α) cu tuburi cu vid şi β) cu tuburi cu gaz.

α) *Releele electronice cu tuburi cu vid* folosesc deobicei triode. Tipul cel mai simplu foloseşte proprietatea de valvă a tubului. Se aplică unui tub (fig. 19) o tensiune anodică, constantă, şi o negativare astfel aleasă, încît să blocheze curentul anodic. În serie cu această tensiune se montează tensiunea de excitaţie, continuă sau alternativă. Alternanţele pozitive (sau cele negative) dacă tensiunea continuă s-a montat în opoziţie cu cea de negativare) produc un curent anodic capabil să excite un releu electromagnetic. Acest tip de releu are o sensibilitate foarte mare şi, în acelaşi timp, este simplu şi robust.

Se foloseşte ca element de demarare şi ca auxiliar în releele de protecţie.

Un alt tip foloseşte, ca sursă anodică, curentul alternativ (fig. 20), iar ca tensiune de grilă, tot curentul alternativ. Dacă V_g este în fază cu U_a va circula un curent anodic cu o componentă continuă, care va determina excitarea unui releu electromagnetic. Dacă V_g este în opoziţie faţă de U_a, nu va trece niciun curent anodic.

Acest releu se bazează deci pe diferenţa de fază a două tensiuni: cea de grilă şi cea anodică.

Se utilizează ca element de pornire şi de măsură, prezentînd avantajul unei mari sensibilităţi şi al unui consum mic de putere.

β) *Releele electronice cu tuburi cu gaz* folosesc tiratroanele. Tiratronul se alimentează de la o sursă de curent alternativ, iar la grilă se aplică în serie o tensiune fixă alternativă V_g şi una variabilă continuă V_G (fig. 21).

Prin variaţia tensiunii continue se variază punctul de aprindere, şi, prin acesta, curentul anodic. După cum punctul de aprindere va fi mai depărtat sau mai apropiat, va scădea sau va creşte componenta de curent continuu a curentului anodic şi, prin acestea, releul electromagnetic din curentul anodic va fi sau nu excitat.

Se folosesc ca relee de măsură (v. vol. III cap. II § 18).

e) Releele termice

7. **Clasificare**. Se utilizează pentru a determina închiderea unui circuit electric atunci cînd, într-un anumit punct al unei instalaţii se ajunge la condiţii de temperatură bine stabilite.

Deobicei, releele termice utilizate în protecţia electrică sînt folosite pentru a semnaliza sau a scoate din funcţiune o anumită parte din instalaţii, la care temperatura a crescut peste o anumită limită sau a scăzut sub o anumită limită.

Se deosebesc următoarele tipuri de relee termice:

— releul termometric cu contact;
— releul termometric cu gaz;
— releul termometric electric.

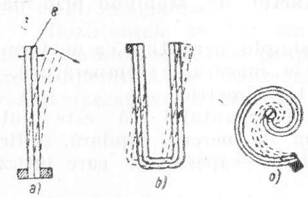


Fig. 17. — Diverse forme de elemente bimetalice: *a* — lamă dreaptă; *b* — lamă în U; *c* — lamă spirală.

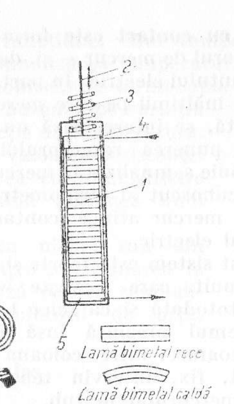


Fig. 18. — Principiul unui releu termic cu deplasare mare a bimetalului: *1* — coloană de lame bimetal; *2* — tijă de acţionare; *3* — arc de presiune; *4* — dop de presiune mobilă; *5* — dop fix.

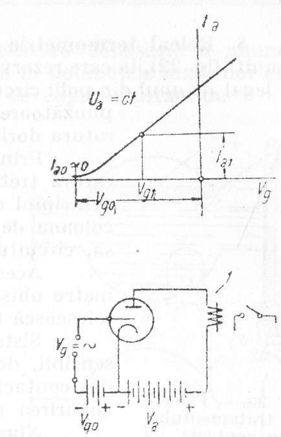


Fig. 19. — Releu electronic de curent continuu şi de curent alternativ, cu alimentare în curent continuu: *1* — releu electromagnetic; *a* — U_a în fază de V_g; *b* — U_a în opoziţie cu V_g.

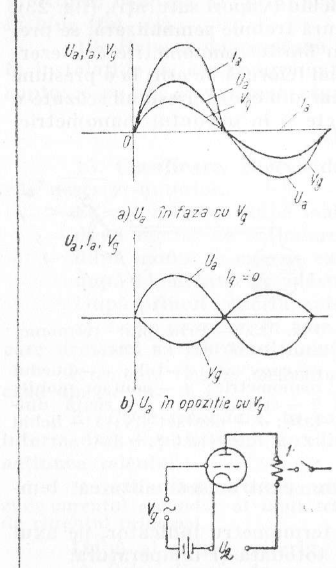


Fig. 20. — Releu electronic de curent alternativ alimentat cu curent alternativ: *1* — releu electromagnetic.

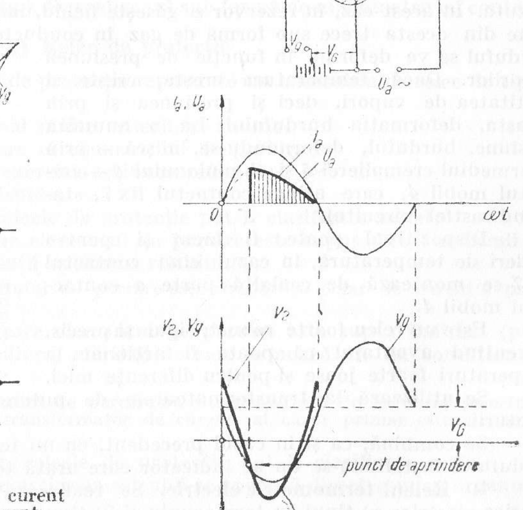


Fig. 21. — Releu electronic cu tiratron.

8. **Releul termometric cu contact** este format dintr-un tub termometric obişnuit (fig. 22), la care rezervorul de mercur — şi, deci, întreaga masă de mercur — este legat de unul din polii circuitului electric. În partea superioară a tubului, corespunzătoare înălţimii pe care mercurul o va atinge la temperatura dorită, se intercalează un contact fix.

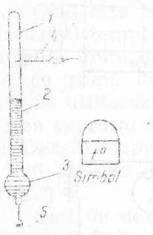


Fig. 22. — Principiul tratamentului cu contact:
1 — tub de sticlă; *2* — coloană de mercur; *3* — rezervor de mercur; *4* — contact superior; *5* — contact la baia de mercur.

Prin punerea rezervorului în mediul a cărui temperatură trebuie semnalizată, mercurul se va ridica în tub după principiul cunoscut al termometrelor. La temperatura dorită, coloana de mercur atinge contactul fix, stabilind prin masa sa, circuitul electric.

Acest sistem este foarte simplu, permiţînd ca un termometru obişnuit, care serveşte la măsurarea temperaturii, să folosească totodată şi ca releu termometric.

Sistemul prezintă însă desavantajul că este puţin sensibil, deoarece, între coloana de mercur, capilară, şi firul de contact, fix, intervin tensiuni superficiale care întîrzie coborîrea mercurului în tub.

Afară de aceasta, capacitatea de rupere a contactului este foarte mică (circa 0,1 A — 24 V în curent continuu).

Se utilizează la termometrele de lagăre, la maşinile electrice şi la transformatoare, pentru măsurarea şi semnalizarea temperaturii în baia de ulei.

9. **Releul termometric cu gaz.** Funcţionează după următorul principiu: la o anumită temperatură şi presiune, un lichid poate fi în stare de vapori sau lichid (vapori saturaţi), (fig. 23).

Un rezervor *1*, situat în locul a cărui temperatură trebuie semnalizată, se prelungeşte cu un tub metalic *2*, pus în legătură cu un burduf manometric *3*. Rezervorul se umple cu o anumită cantitate de lichid special (clorură de etil) la o presiune scăzută. În acest caz, în rezervor se găseşte lichid, iar din cauza presiunii scăzute o parte din acesta trece sub formă de gaz în conducte şi în burduful manometric. Burduful se va deforma în funcţie de presiunea vaporilor. Dacă temperatura creşte, creşte şi cantitatea de vapori, deci şi presiunea şi prin aceasta, deformaţia burdufului. La o anumită presiune, burduful, deformîndu-se, mişcă — prin intermediul cremalierei *5* şi al pinionului *6* — contactul mobil *4*, care atinge contactul fix *7*, stabilind astfel circuitul.

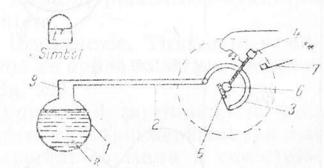


Fig. 23. — Principiul termometrului cu gaz:
1 — rezervor; *2* — tub; *3* — burduf manometric; *4* — contact mobil; *5* — cremalieră; *6* — roată dinţată; *7* — contact fix; *8* — lichid special; *9* — gaz.

Dispozitivul poate fi făcut şi pentru scăderi de temperatură, în cazul cînd contactul fix *7* se montează de cealaltă parte a contactului mobil *4*.

Este un releu foarte robust, sigur şi precis, prezentînd avantajul că poate fi acţionat la temperaturi foarte joase şi pentru diferenţe mici.

Se utilizează la transformatoarele de putere pentru semnalizarea temperaturii.

Se combină, ca şi în cazul precedent, cu un termometru indicator, pe axul burdufului instalîndu-se un ac indicator care arată totodată şi temperatura.

10. **Releul termometric electric.** Se realizează două tipuri de relee termometrice electrice α) tipul cu termocuplu şi β) tipul cu rezistenţă.

α) *Tipul cu termocuplu* utilizează principiul termocuplurilor, adică apariţia unei forţe electromotoare la bornele sale, funcţie de temperatură. Un releu sensibil

electromagnetic este pus în funcţiune, cînd temperatura depăşeşte o anumită limită. Se utilizează pentru semnalizarea temperaturii în bobinajele maşinilor electrice mari. Se construiesc, deobicei, cu termocuple de cupru-constantan.

β) *Tipul cu rezistenţă* se bazează pe variaţia unei rezistenţe electrice în funcţie de temperatură. Un aparat de măsură măsoară valoarea rezistenţei şi cînd aceasta a atins valoarea corespunzătoare temperaturii reglate, determină acţiunea unui releu electromagnetic.

Rezistenţele se fac din nichel sau din platină, putîndu-se realiza pentru funcţionarea la orice temperaturi. Se utilizează pentru semnalizarea temperaturii în transformatorii de forţă.

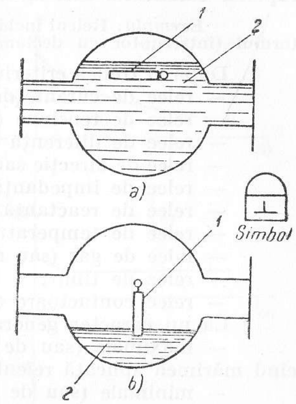


Fig. 24. — Releu de nivel:
a — contact deschis; *b* — contact închis; *1* — plutitor port contact.

d) Relee mecanice

11. **Releele de nivel sau de gaz** sînt utilizate cu exclusivitate în protecţia transformatoarelor; ele se bazează pe principiul că, într-o conductă în care este în permanenţă lichid, un plutitor stă ridicat şi deci un contact pe care plutitorul îl antrenează, este deschis. Cînd lichidul a dispărut sau cînd conductele se umplu cu gaze, plutitorul coboară şi prin aceasta, contactul se închide (fig. 24).

12. **Releele de presiune** servesc la semnalizarea unei creşteri de presiune în instalaţiile de aer comprimat auxiliare instalaţiilor electrice (de exemplu întreruptoare cu aer comprimat etc.). Se realizează sub formă de manometru cu contact.

e) Relee de protecţie

13. **Clasificare.** Releele de protecţie reprezintă un ansamblu de relee de tipurile descrise anterior.

Se pot clasifica după mai multe criterii, şi anume:
după modul de acţionare al elementului de pornire;
după modul în care se exercită acţiunea releului;
după elementul de măsură.

După primul criteriu, releele de protecţie pot fi clasificate astfel:

α) *Relee primare*, în care elementul de pornire este supus direct mărimii de care urmează să fie condiţionată acţiunea releului.

Exemplu: Bobina elementului de pornire este străbătută chiar de curentul principal din circuit.

β) *Relee secundare*, în care elementul de pornire este supus indirect (prin intermediul dispozitivelor auxiliare) mărimii de care urmează să fie condiţionată acţiunea releului.

Exemplu: Bobina elementului de pornire nu este străbătută de curentul principal, ci de curentul secundar al unui transformator de curent, al cărui primar este străbătut de curentul principal.

După al doilea criteriu, releele de protecţie pot fi clasificate astfel:

γ) *Relee directe*, în care acţiunea releului se execută direct asupra organului de protejat.

Exemplu: Acţiunea unui releu, sezisat de un curent mai mare decît cel admisibil într-o instalaţie oarecare, se realizează prin basculare unei pîrghii care comandă direct dispozitivul mecanic de declanşare al unui întreruptor.

δ) *Relee indirecte*, în care acţiunea releului se exercită indirect asupra organului de protejat. În acest caz, acţiunea releului este totdeauna caracterizată prin închiderea sau deschiderea unui contact, determinînd astfel stabilirea sau întreruperea curentului într-un circuit.

Exemplu: Releul închide un contact care excită bobina de deschidere a întreruptorului (întreruptor cu declanşare electromecanică).

După al treilea criteriu, releele pot fi clasificate astfel:
— relee de curent (de intensitate sau ampermetrice);
— relee de tensiune (sau voltmetrice);
— relee de diferenţă (sau diferenţiale);
— relee de direcţie sau de putere (direcţionale, wattmetrice sau varmetrice);
— relee de impedanţă;
— relee de reactanţă;
— relee de temperatură;
— relee de gaz (sau relee Bucholz);
— relee de timp;
— relee contactoare (sau auxiliare).

Ca un caracter general releele pot fi:
— maximale (sau de maxim), la care elementul de pornire este acţionat, cînd mărimea aplicată releului depăşeşte o anumită valoare fixată;
— minimale (sau de minim), la care elementul de pornire este acţionat, cînd mărimea aplicată releului scade sub o anumită valoare.

Se numeşte *valoare reglată* mărimea de la care, fie prin creşterea, fie prin descreşterea mărimii aplicate, elementul de pornire sau de măsură intră în funcţiune.

Unele relee mai sînt caracterizate şi prin « valoarea nominală », adică prin valoarea mărimii respective de acţionare pentru care ele sînt construite, valoarea reglată putînd fi un multiplu sau un submultiplu al valorii nominale.

Exemplu. Un releu de 5 A cu reglaj dela 1,2 la 2 ori valoarea nominală este un releu cu valoarea nominală de 5 A, la care elementul de pornire poate fi făcut să acţioneze, să pornească, de la 6 A (1,2 × *I* nom) la 10 A (2 × *I* nom).

Se numeşte *reglaj* al unui releu operaţia prin care i se stabileşte valoarea reglată corespunzătoare.

Condiţiile generale ale releelor de curent sau tensiune sînt date de STAS 4196-53.

14. Relee de curent. Astfel de relee sînt acţionate de trecerea unui curent electric prin bobina elementului de pornire. Ele pot fi maximale: de curent maxim sau maximale de curent, şi, uneori, minimale: de curent minim sau minimale de curent.

Ele mai pot fi directe sau indirecte, primare sau secundare. Tot astfel, aceste relee pot fi:
— netemporizate sau instantanee, cînd acţiunea lor nu suferă vreun proces de întîrziere;
— temporizate, cînd acţiunea lor suferă un proces de întîrziere.

Se numeşte caracteristică de funcţionare a unui releu maximal de curent curba timp de acţionare-curent de pornire. În acest sens, releele pot prezenta tipurile de curbe caracteristice din fig. 25.

a) *relee cu caracteristica dependentă*, la care timpul de acţionare este funcţie de curentul care străbate bobina releului, această funcţie fiind, în general, hiperbolică (fig. 25, *a*);

b) *relee cu caracteristica semidependentă*, la care timpul de acţionare este funcţie de curent, însă numai pînă la o anumită valoare a curentului, de la care timpul devine constant, independent de curent (fig. 25, *b*);

c) *relee cu caracteristica independentă*, la care timpul de acţionare este independent de curentul care străbate releul (fig. 25, *c*);

d) *relee cu caracteristica limitată*, pentru scurtcircuit la care timpul de acţionare poate fi funcţie de curent sau poate fi constant, însă pentru o anumită valoare a curentului, mare, timpul de acţionare devine foarte scurt, aproape de zero (fig. 25, *d*). Trebuie observat că un releu poate avea fie numai una din caracteristicile de mai sus, fie una din caracteristicile *a*, *b*, *c* concomitent cu caracteristica *d*.

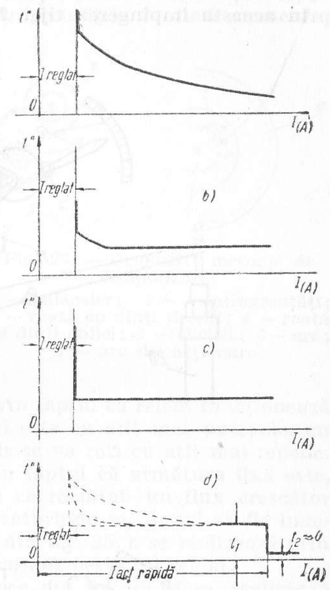


Fig. 25. — Caracteristicile releelor maximale de curent:
a — dependentă; *b* — semidependentă; *c* — independentă; *d* — limitată la scurtcircuit.

Releele maximale de curent directe sînt, în majoritatea cazurilor, primare, fiind în acelaşi timp şi temporizate.

În general, elementul de pornire este un releu electromagnetic şi, uneori, un releu electric termic; elementul de temporizare poate fi un releu de inducţie sau un dispozitiv mecanic, iar releul auxiliar este un releu electromagnetic.

Releele maximale de curent indicate sînt, în majoritatea cazurilor, secundare, ele putînd fi temporizate sau netemporizate. În cel de al doilea caz, releului de protecţie i se adaugă un releu auxiliar de timp.

Releele directe acţionează deobicei asupra dispozitivului mecanic de declanşare al întreruptorului protejat, pe cînd cele indirecte, acţionează prin relee auxiliare.

α) *Relee maximale directe, primare, electromagnetice.* În fig. 26 este reprezentat un astfel de releu de curent alternativ. Elementul de pornire, ca şi cel de acţionare, este format dintr-un electromagnet cu armătura basculantă. Curentul principal din circuitul protejat străbate înfăşurarea *1*, determinînd magnetizarea armăturii fixe *2*. O armătură mobilă *14* este menţinută în poziţia de repaus, depărtată de armătura fixă, cu ajutorul arcului *17*. Tensiunea acestui arc este variată, după dorinţă, prin cursorul *18*, care reprezintă organul de reglare a curentului. După cum cursorul se găseşte mai sus sau mai jos, este necesar ca bobina să fie parcursă de un curent mai mare sau mai mic, pentru a provoca atracţia armăturii mobile. O observaţie importantă: dacă valoarea curentului a depăşit valoarea reglată prin arcul *17*, şi armătura este atrasă, fluxul prin *2* şi *14* este sensibil constant, oricare ar fi valoarea curentului; aceasta se realizează prin faptul, că armătura fixă este, în aceste condiţii, totdeauna saturată.

Prin depăşirea curentului reglat armătura este atrasă trecînd din poziţia *I* (repaus) în poziţia *II*, limitată de opritorul *10*, care se loveşte de pîrghia *11*. În acest moment, roata dinţată *6* este împinsă în sus, angrenîndu-se cu roata dinţată *5* şi cu sectorul dinţat *7*. Totodată, prin pîrghia *19* se liberează piedica *21* şi, deci cilindrul *3* metalic, situat în interiorul fluxului magnetic al armăturii fixe *2*, se poate roti ca un releu de inducţie (se prevăd şi cele două spire în scurtcircuit, pentru decalarea fluxului; acestea nu se văd în figură). Dat fiind că fluxul este constant, independent de curent, cilindrul *3* va începe să se rotească cu o viteză constantă. Prin mişcarea sa, el antrenează roata dinţată *5*, prin intermediul unui şurub

fără sfîrşit *4*. Mişcarea se transmite, prin intermediul roţii dinţate *6*, sectorului dinţat *7* care va începe să se deplaseze în jos. După un timp oarecare (temporizarea releului), sectorul loveşte piesa de deblocare *11*, care liberează clichetul *10*, liberînd pîrghia *15*, solidară cu armătura mobilă *14*. Efortul electromagnetic va trage brusc armătura mobilă, lipind-o de armătura fixă (poziţia *III*), determinînd prin aceasta împingerea tijei *20* în jos, şi efectuîndu-se astfel acţionarea.

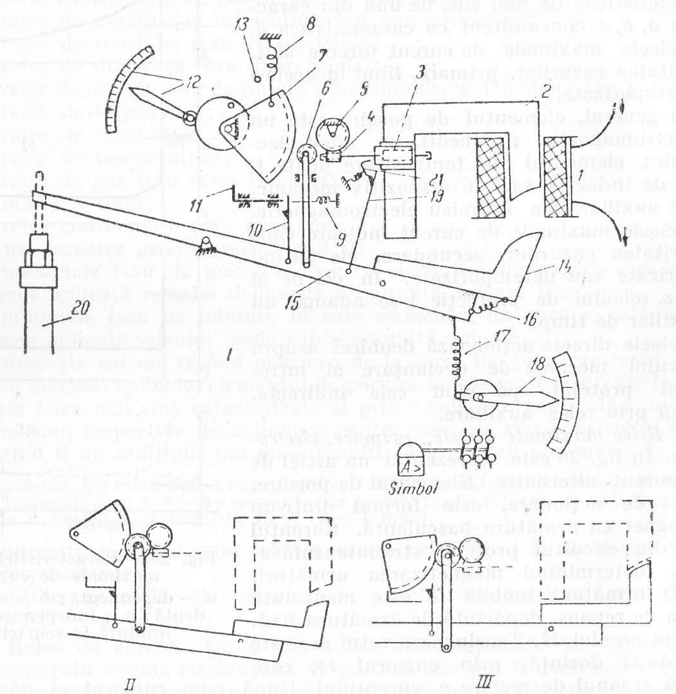


Fig. 26. — Releu electromagnetic temporizat primar (tip electromagnetic şi de inducţie): *I* — poziţia de repaus; *II* — declanşarea mecanismului de timp; *III* — declanşarea întreruptorului protejat; *1* — bobină; *2* — miez de fier; *3* — electromagnet; *4* — şurub fără sfîrşit; *5* — roată dinţată fixă; *6* — roată dinţată mobilă; *7* — sector dinţat al reglajului de timp; *8* şi *9* — arcuri antagoniste; *10* — clichet de declanşare; *11* — piesă pentru deblocarea clichetului de declanşare; *12* — reglaj de timp; *13* — limitator de cursă; *14* — armătură mobilă; *15* — pîrghia armăturii mobile; *16* — arc pentru amortizarea şocului; *17* — arc pentru reglarea curentului; *18* — reglajul curentului; *19* — clichet pentru liberarea mecanismului; *20* — tijă de declanşare; *21* — piesă de liberare a mecanismului.

Prin deplasarea, în repaus, a cursorului *12* se determină, cu ajutorul arcului *8*, deplasarea sectorului *7* mai sus sau mai jos, astfel încît sectorul va trebui să execute o mişcare mai mare sau mai mică, adică într-un timp mai lung sau mai scurt, după cum cursorul *12* se va găsi mai jos sau mai sus: acesta reprezintă reglajul de timp al releului.

Uneori, acest releu se numeşte declanşator primar.

În locul elementului de temporizare de inducţie se poate realiza o temporizare mecanică, utilizînd dispozitivul din fig. 27. În deplasarea sa, armătura mobilă angrenează o roată dinţată *7*; aceasta, antrenată într-un anumit sens, determină, la rîndul său, cu ajutorul clichetului *5*, antrenarea roţii cu dinţi oblici *4*, care, prin intermediul axului său şi al unei roţi, roteşte roata *3* cu dinţi drepţi. Pe această roată se reazemă balansierul *1*, cu contragreutăţile *2*; dacă momentul de inerţie al ansambului *1* şi *2* este mare (greutăţile spre extremităţi), perioada de oscilaţie va fi mare şi, deci, roata *3* se va roti încet iar, dacă momentul de inerţie este mic, se va roti repede, prin aceasta mişcarea armăturii mobile este întîrziată. Acest sistem se utilizează de obicei la releele de curent pentru curent continuu, la care temporizarea prin releu de inducţie nu este posibilă.

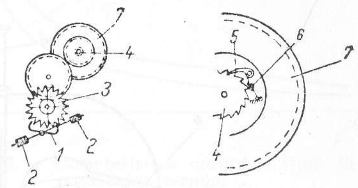


Fig. 27. — Dispozitiv mecanic de temporizare:

1 — balansier; *2* — contragreutăţi; *3* — roată cu dinţi drepţi; *4* — roată cu dinţi oblici; *5* — clichet; *6* — arc; *7* — arc de acţionare.

Releele maximale de curent se execută cu:

— reglaj de curent 1,2...2 *I* nominal
— reglaj de timp 0...12 s

Releele maximale de curent, primare directe, se realizează cu oricare dintre caracteristicile din fig. 25.

Caracteristica din fig. 25, *a* se poate obţine prin faptul că releul funcţionează cu armătura fixă în regim nesaturat, şi deci fluxul este cu atît mai puternic, cu cît curentul este mai mare şi, deci, motorul Ferraris se va roti cu atît mai repede.

Caracteristica din fig. 25, *b* se realizează prin faptul că armătura fixă este, pentru *I* reglat, în preajma saturaţiei, ceea ce are ca rezultat un flux crescător cu curentul, la început, pentru ca apoi, armătura saturîndu-se, fluxul să fie independent de curent şi deci constant. Caracteristica din fig. 25, *c* se realizează prin faptul că armătura fixă este saturată pentru orice curent peste cel reglat.

Completarea caracteristicilor *a*, *b* sau *c* cu cea din fig. 25, *d* se realizează prin artificii constructive; de exemplu în fig. 26, pîrghia *11* este supusă direct acţiunii electromagnetului *3*, şi la curenţi mari este atrasă direct. Prin arcul *9*, se poate regla ca acţionarea să se producă pentru valori mai mari sau mai mici ale curentului.

Se alege deobicei

$$I_{sc \cdot c \text{ cu temporizare nulă}} = (3\ldots6)\, I_n .$$

Armătura mobilă trebuie să desvolte un cuplu mare, acţionînd totodată şi prin şoc.

Ca date practice se alege, deobicei, numărul de amper-spire

$$AS = 1000 - 3000,$$

iar forţa maximă necesară trebuie considerată la circa:

$$F \approx (20\ldots40)\ \mathrm{N}$$

la vîrful pîrghiei.

În fig. 28 este reprezentat un astfel de releu. Se observă bobina *1*, care este străbătută de curentul principal; aceasta produce magnetizarea unui miez de fier, în interiorul căruia se găsesc elementul motor şi dispozitivele mecanice de temporizare.

Reglajul de curent se poate realiza cu ajutorul cursorului *4 a*, iar reglajul de timp, cu ajutorul cursorului *4 b*. Se observă, în partea de jos a releului, pîr-

ghia de acţionare *5*, care, prin intermediul tijei izolante *7*, determină declanşarea întreruptorului protejat.

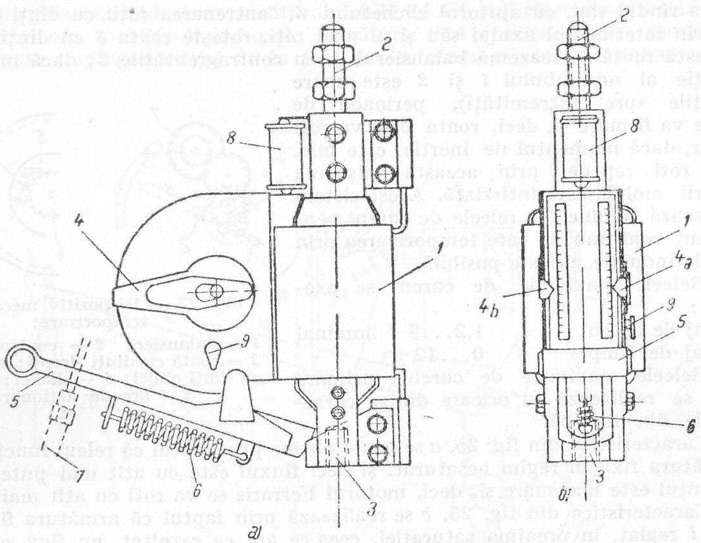


Fig. 28. — Releu direct, maximal, electromagnetic;
a — vedere laterală; *b* — vedere frontală; *1* — bobină; *2* — bulon de fixare; *3* — filet de legătură, ieşire; *4 a* — cursor pentru reglarea curentului; *4 b* — cursorul pentu reglarea timpului; *5* — pîrghie de acţionare; *6* — arc de amortizare; *7* — tijă de acţionare; *8* — rezistenţă de amortizare; *9* — pîrghie pentru declanşare instantanee.

Pe una dintre părţile laterale ale releului (cea din dreapta privind releul din faţă) se găseşte dispozitivul pentru declanşare instantanee în cazul cînd curentul depăşeşte o anumită limită.

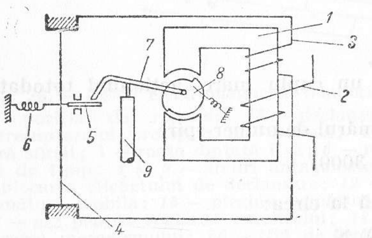


Fig. 29. — Releu direct cu fir cald:
1 — armătură fixă; *2* — bobinaj principal; *3* — bobinaj secundar; *4* — fir cald; *5* — opritor; *6* — arc; *7* — pîrghie de acţionare; *8* — armătură mobilă; *9* — tijă de acţionare.

Arcul *6* de la sectorul de acţionare serveşte pentru a amortisa şocurile prea mari, care ar putea avea efecte dăunătoare asupra întreruptorului protejat. El realizează o legătură elastică între armătura mobilă a electromagnetului şi pîrghia de acţionare.

β) *Relee maximale directe, primare, termice.* Se contruiesc cu fir cald şi cu bimetal.

R e l e u l m a x i m a l c u f i r c a l d se compune dintr-un element de pornire şi acţionare electromagnetic şi dintr-un dispozitiv de temporizare termic. În fig. 29 este reprezentat un astfel de releu pentru curent alternativ.

Curentul principal parcurge bobinajul *2*, situat pe armătura fixă *1*. În bobinajul *3* se va induce un curent care va parcurge firul *4*, încălzindu-l. Fluxul din

întrefierul armăturii *1* va determina apariţia unui cuplu activ la armătura mobilă *8*, care însă nu se va putea deplasa, fiind oprită de un opritor *5*, care se reazemă pe firul cald, prin forţa de tracţiune a unui arc *6*. Prin încălzire, firul se dilată şi opritorul se deplasează uşor, pînă cînd liberează armătura *8* care, basculînd, determină acţionarea prin tija *9*.

Timpul de acţionare depinde de:

— curentul prin circuitul principal;

— constanta de timp la încălzire a firului.

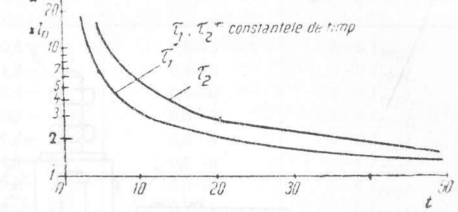


Fig. 30. — Caracteristica curent — timp la un releu termic.

În fig. 30 este redată caracteristica curent-timp la un astfel de releu, în funcţie de două valori ale constantei de timp; aceasta este o caracteristică dependentă. Pentru a feri firul de influenţa mediului exterior, el se protejează, în general, cu un tub de sticlă.

γ) *Releul maximal direct* se bazează pe principiul din fig. 18. Curentul principal parcurge o bobină care, prin inducţie, provoacă încălzirea unei coloane de lame bimetal. Prin dilataţia acestei coloane se determină împingerea unui clichet care, dacă atinge o anumită poziţie reglată, provoacă acţionarea.

Acest releu se execută în două tipuri: compensat, adică neinfluenţat de temperatura mediului exterior, sau necompensat. În fig. 31 este reprezentat un astfel de releu.

Pe cadranul din faţă (fig. 31) se observă un termometru indicator care indică temperatura releului şi în cazul că releul are aceeaşi constantă de timp la încălzire, chiar temperatura obiectului protejat. Temperatura releului poate fi cea absolută (la tipul necompensat), sau cea relativă faţă de mediul exterior (la tipul compensat).

Printr-un buton de reglare se reglează temperatura la care releul trebuie să acţioneze. Cînd temperatura releului coincide cu cea reglată, releul acţionează determinînd căderea pîrghiei, şi, prin aceasta, declanşarea întreruptorului protejat. Prin reglarea butonului de la partea de jos a releului se determină curentul la care releul acţionează instantaneu, în cazuri de curenţi foarte mari. Aceasta se realizează printr-un mic element electromagnetic, conţinut în aceeaşi cutie. Diferitele constante de timp după care se doreşte ca releul că funcţioneze, se obţin prin nişte piese metalice de radiaţie, laterale, care se pot monta şi demonta cu uşurinţă.

Releul mai posedă şi un element de reglaj pentru variaţia intensităţii de funcţionare, şi anume cu ajutorul a două pene de material nemagnetic se poate mări sau se poate micşora întrefierul şi, prin aceasta, fluxul din armătura releului.

Deobicei, temperatura de regim a releului (la $t = \infty$) se alege, la curentul nominal:

$$t = 60°$$

această temperatură reprezentînd, pentru majoritatea obiectelor protejate, temperatura admisibilă de funcţionare în regim permanent.

Cu ajutorul penelor de reglare şi al reglajului de temperatură se pot realiza uşor adaptări între obiectele protejate şi releu, chiar dacă nu corespund exact constantelor de timp.

Releele maximale directe, primare se execută, deobicei, pentru intensităţile corespunzătoare aparatului de protejat. Cum însă reglajul releului permite variaţia curentului de pornire între 1,2 la $2\times I$ nominal, gama necesară de relee se poate restrînge mult. În tabela 3 sînt date gamele uzuale de curenţi nominali ale acestor tipuri de relee.

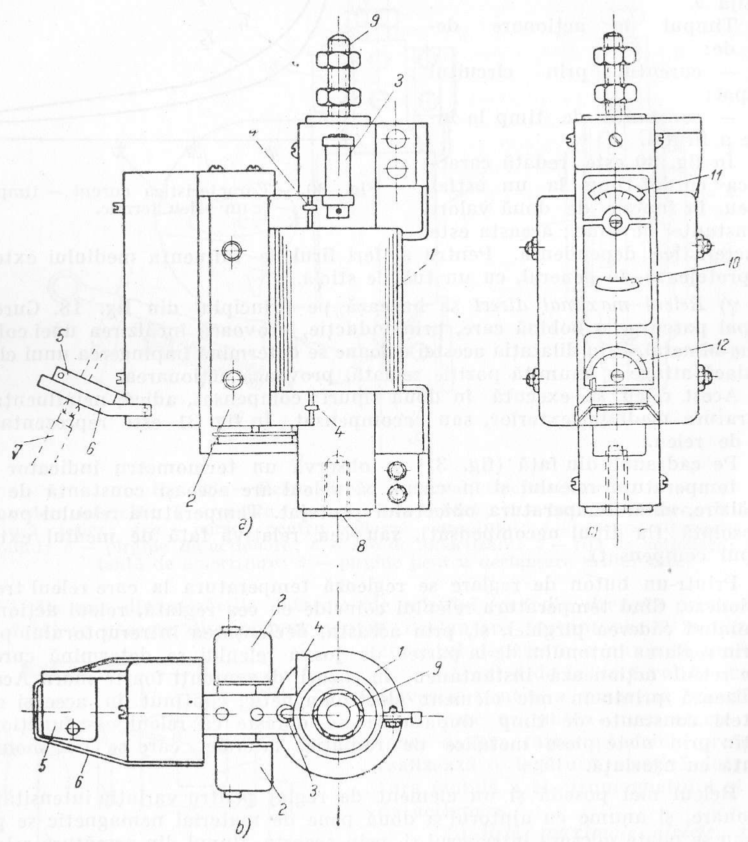


Fig. 31. — Releu maximal direct termic:
a — vedere laterală; *b* — vedere de sus; *c* — vedere frontală; *1* — bobinaj; *2* — piese de radiaţie; *3* — rezistenţă de amortizare; *4* — pene de reglaj; *5* — clapetă de declanşare; *6* — indicator de funcţionare; *7* — tijă de acţionare; *8* — gaură de fixare; *9* — bulon de fixare; *10* — termometru indicator; *11* — reglaj de acţionare; *12* — reglaj pentru acţionarea rapidă în caz de scurtcircuit.

La releele primare directe, bobina releului este străbătută chiar de curentul principal din circuit. Aceste relee se montează deobicei în circuitele de tensiune înaltă din sistemele electrice.

Tabela 3. Tipurile curente de relee maximale directe primare

I_{nom} releu, A	Limite de reglaj curent (faţă de curentul nominal)	Limite de reglaj curent, A	Limite de reglaj timp, s	Beglaj la limitarea caracteristicii
0,5	1,2 -2	0,6— 1	0,5—6	3—6 $I_{regl.}$
1	1,2—2	1,2— 2	0,5—6	3-6 $I_{regl.}$
2	1,2—2	2,4— 4	0,5—6	3—6 $I_{regl.}$
4	1,2—2	4,8— 8	0,5—6	3—6 $I_{regl.}$
6	1,2—2	7,2— 12	0,5—6	3—6 $I_{regl.}$
12	1,2—2	14,4— 24	0,5—6	3—6 $I_{regl.}$
16	1,2—2	19,2— 32	0,5—6	3-6 $I_{regl.}$
25	1,2—2	30 — 50	0,5—6	3—6 $I_{regl.}$
40	1,2—2	48 — 80	0,5—6	3—6 $I_{regl.}$
60	1,2—2	72 —120	0,5—6	3—6 $I_{regl.}$
80	1,2—2	96 —160	0,5—6	3—6 $I_{regl.}$
100	1,2—2	120 —200	0,5—6	3—6 $I_{regl.}$
200	1,2—2	240 —400	0,5—6	3—6 $I_{regl.}$
400	1,2—2	480 —800	0,5—6	3—6 $I_{regl.}$
600	1,2—2	720—1 200	0,5—6	3—6 $I_{regl.}$
800	1,2—2	960—1 600	0,5—6	3—6 $I_{regl.}$
1 200	1,2—2	1 440—2 400	0,5—6	3—6 $I_{regl.}$

Cum reţelele din aceste sisteme pot fi uşor supuse la perturbaţii, bobinajul releului trebuie să fie protejat contra acestora.

În general, perturbaţiile se produc sub forma unor supratensiuni foarte importante, de scurtă durată, şi caracterizate printr-o frecvenţă proprie foarte înaltă. În acest caz, reactanţa releului devine foarte mare la astfel de frecvenţe şi, deci, căderea de tensiune, la capetele bobinei, poate lua valori foarte mari, putînd pune în pericol starea releului.

Pentru a evita efectele grave a acestor supratensiuni se montează în paralel cu bobina, o rezistenţă de silit (carbură de siliciu) sau de alt material asemănător (vilit etc.), caracterizat printr-o mare rigiditate termică, cum şi o rezistenţă variind aproximativ invers proporţional cu curentul:

$$r \cong \frac{k}{i}.$$

La frecvenţele normale, industriale, rezistenţa este mult mai mare faţă de reactanţa bobinei şi, deci, curentul parcurge înfăşurarea. La frecvenţele mari rezistenţa devine mică în comparaţie cu reactanţa bobinei, şi curentul principal va parcurge rezistenţa, încălzind-o. La bornele ei nu se va produce însă o cădere de tensiune prea mare, doarece:

$$ir = e \cong cl,$$

în acest fel limitîndu-se supratensiunile.

La releele descrise anterior se poate vedea rezistenţa; astfel, la releul electromagnetic din fig. 28, rezistenţa de limitare a supratensiunilor este notată cu *8*, iar la releul termic din fig. 31 rezistenţa este notată cu *3*

Se ia, deobicei,

$$r_{20^\circ} \cong 100\ \Omega.$$

δ) *Relee secundare maximale de curent.* Releele secundare sînt alimentate în curent alternativ, de curentul secundar al unui transformator de curent iar în curent continuu, de curentul care se derivă la bornele unui şunt.

Cu foarte rare excepţii, releele secundare maximale de curent sînt indirecte.

Aceste relee se realizează în trei tipuri:
- electromagnetice;
- de inducţie;
- electrice termice

sau prin combinarea acestor tipuri.

ε) *Releele maximale secundare electromagnetice* pot fi:
- netemporizate;
- temporizate.

Releele netemporizate se pot realiza sub oricare dintre formele descrise mai înainte: cu armătura basculantă dreaptă, circulară sau, mai rar, cu solenoid.

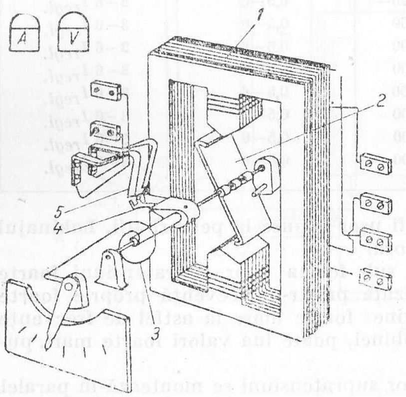


Fig. 32. — Construcţia unui releu electromagnetic secundar cu armătură rotativă (paletă):
1 — armătură fixă; *2* — armătură mobilă (paletă); *3* — arc antagonist; *4* — contact mobil; *5* — contact fix.

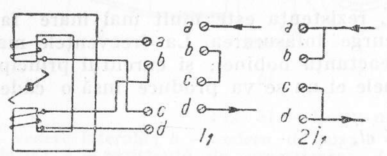


Fig. 33. — Modul de legare a bobinelor unui releu electromagnetic pentru diverse intensităţi nominale.

La cele cu armătura dreaptă basculantă, prin bascularea armăturii (fig. 1) se determină închiderea sau deschiderea unui contact sau a mai multor contacte. Un arc *4* determină curentul necesar pentru ca armătura să poată fi atrasă; tensiunea acestui arc poate fi variată prin intermediul pîrghiei de reglare *5*, prin manevrarea acestei pîrghii permiţîndu-se reglarea curentului.

La releul cu armătură basculantă rotativă (sau cu paletă), rotaţia armăturii determină acţionarea contactului sau a contactelor (fig. 6 şi fig. 7). Prin variaţia tensiunii arcului spiral se determină curentul de acţionare.

În fig. 32 este reprezentat un releu secundar maximal de curent, cu paletă rotativă. Armătura fixă este realizată dintr-un cadru de fier laminat, pe polii căruia sînt bobinate cele două bobine active. Paleta rotativă poartă pe axul său contactele mobile; deplasarea sa determină închiderea contactului fix *5* prin scurtcircuitarea celor două lame. Un arc antagonist *3* menţine paleta într-o poziţie extremă, tensiunea acestui arc determinînd curentul necesar de acţionare. Prin variaţia tensiunii arcului, cu ajutorul cursorului special, se determină reglajul releului.

Cele două bobine, de pe cei doi poli ai releului, pot fi legate, fie în serie, fie în paralel, prin aceasta putîndu-se schimba intensitatea nominală a releului (fig. 33).

Dintre toate aceste tipuri, releul cu paletă este cel mai sensibil, fără sgomot, avînd în acelaşi timp şi un factor de revenire *k* foarte bun.

Releele temporizate pot fi de asemenea de mai multe tipuri:
- cu temporizare mecanică;
- cu temporizare magnetică;
- cu temporizare prin releu de inducţie;
- cu temporizare prin releu auxiliar.

Releele electromagnetice cu temporizare mecanică se obţin adăugînd unui releu netemporizat de tipul descris mai sus un dispozitiv mecanic analog cu cel din fig. 27. Prin deplasarea sa, armătura mobilă antrenează o roată cu clichet care încetineşte, deplasarea armăturii, determinînd astfel temporizarea necesară. Desavantajul principal la acest tip îl prezintă însă faptul, că reglajul temporizării este greu de făcut şi, deaceea, releele electromagnetice cu temporizare mecanică se realizează cu o întîrziere fixă.

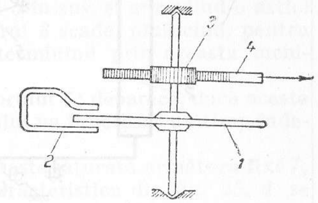


Fig. 34. — Dispozitiv magnetic de temporizare:
1 — disc; *2* — magnet permanent; *3* — roată dinţată; *4* — cremalieră.

Releele electromagnetice cu temporizare magnetică se obţin adăugînd unui releu netemporizat un dispozitiv cum este cel din fig. 34. Acest dispozitiv se compune dintr-un disc metalic (aluminiu), care se poate roti în întrefierul unui magnet permanent; prin rotaţia sa se vor induce în disc curenţi turbionari (Foucault), care determină apariţia unui cuplu antagonist care frînează discul. Axul discului se angrenează prin intermediul unei roţi dinţate şi al unei cremaliere, de armătura mobilă a releului; prin deplasarea acesteia se antrenează discul, care însă nu se poate roti decît încet, datorită frînării magnetice, şi, prin aceasta, se obţine încetinirea deplasării armăturii.

Releele electromagnetice secundare maximale de curent, cu temporizare prin releu de inducţie, sînt cele mai răspîndite relee secundare. Se va descrie tipul IT 80.

În fig. 35 este reprezentat principial un astfel de releu. El se compune dintr-un electromagnet format din armătura fixă lamelată *7*, pe care este aşezată bobina *1*. În întrefierul acestui electromagnet se găseşte un disc de aluminiu *4*, solidar cu un ax ale cărui lagăre se găsesc pe un cadru tot de aluminiu *11*, care poate, la rîndul său, să basculeze în jurul a două axe, fiind însă în echilibru indiferent, deoarece greutatea discului este contrabalansată de contragreutatea *12*. Un arc foarte slab dă un mic cuplu cadrului, ţinîndu-l în repaus în poziţia din fig. 35, *a*. Pe axul discului de aluminiu se găseşte un şurub fără sfîrşit *6*, care în cazul cînd cadrul ocupă poziţia *35*, *b* (releu în funcţiune), poate angrena cu sectorul dinţat *5*. Acest sector, atît timp cît nu este angrenat cu şurubul fără sfîrşit *6*, poate cădea prin proprie greutate, fiind oprit însă de piesa *10*, care poate fi deplasată mai sus sau mai jos cu ajutorul şurubului de reglaj *9*, prin aceasta determinînd, în repaus, poziţia sectorului *5*. Sectorul, în poziţia sa extremă superioară, loveşte armătura mobilă *3*, apropiind-o de armătura fixă *7* şi determinînd închiderea contactului *14*. Armătura mobilă este menţinută în repaus la oarecare distanţă de armătura fixă, cu ajutorul şurubului de reglare *15*.

Dacă bobina *1* este străbătută de curent, datorită existenţei spirelor în scurtcircuit *8*, discul va fi supus, la periferia sa, unei forţe *F* (fig. 36) care, la rîndul său, va produce un cuplu de rotaţie a discului în jurul axei sale (cuplul C_1) şi un cuplu C_2 asupra cadrului. În cazul cînd cuplul C_2 este mai mic decît cuplul antagonist determinat de arcul *13*, cadrul nu se va roti, însă discul va fi totuşi pus în mişcare. Viteza sa va fi constantă, deoarece el se găseşte şi în întrefierul magnetului permanent *16*, care realizează un cuplu antagonist. În cazul din fig. 35, *a*, discul se roteşte

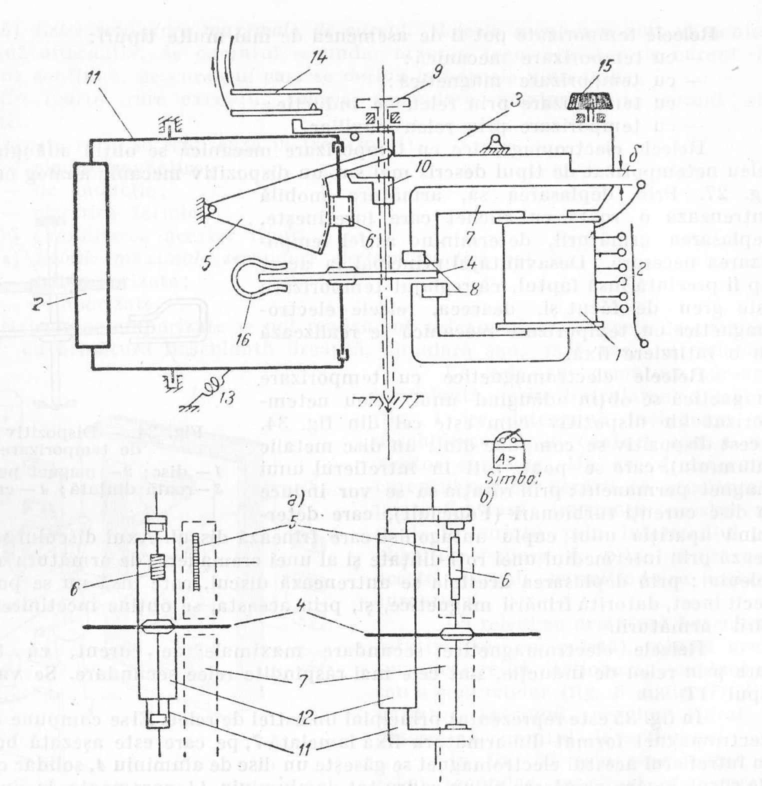


Fig. 35.—Releu electromagnetic secundar (tip IT-80) maximal de curent, cu temporizare prin releu de inducție:
a — repaus; *b* — lucru; *1* — bobină; *2* — reglaj de curent; *3* — armătură mobilă; *4* — disc; *5* —sector dințat; *6* —șurub-melc; *7* —armătură fixă; *8* —spire în scurtcircuit; *9* — șurub pentru reglaj de timp; *10* — piesă pentru reglaj de timp; *11* —cadru basculant; *12* — contragreutate; *13* — arc de revenire a cadrului; *14* — contact; *15* — șurub de reglare pentru declanșare rapidă; *16* — magnet.

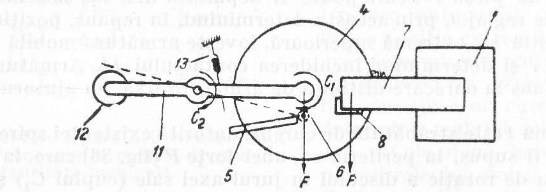


Fig. 36. Funcționarea releului electromagnetic secundar maximal de curent, cu temporizare prin releu de inducție.

însă cadrul, fiind ținut, într-una din pozițiile sale extreme, de tensiunea arcului *13*, nu va putea angrena sectorul *5*. Dacă însă curentul din bobina *1* depășește o anumită valoare, « valoarea reglată », cuplul C_2 va fi mai mare decît cel determinat de arcul *13* și, deci afară de faptul că discul se rotește, se va roti și cadrul în cealaltă poziție extremă provocînd angrenarea șurubului *6* cu sectorul *5*. Acesta este cazul din fig. 35 *b*.

Șurubul *6* va găsi sectorul *5* într-o poziție determinată de cea a piesei *10*. El va angrena sectorul și îl va conduce spre poziția extremă superioară. La un moment dat, sectorul va atinge armătura mobilă 3, împingînd-o în sus, și apropiind-o astfel de armătura fixă *7*. Armătura apropiindu-se, întrefierul δ scade, pînă cînd, pentru un δ suficient de mic, armătura este atrasă brusc, determinînd prin aceasta închiderea contactului *14*.

Temporizarea releului este dată de poziția sectorului *5*; deoarece, dacă acesta este mai jos, pentru o aceeași viteză de rotație a discului va fi necesar un timp îndelungat spre a fi adus în poziția superioară.

Releul poate fi făcut, în funcție de modul în care este saturată armătura fixă *7*, să aibă oricare dintre caracteristicile din fig 25. Caracteristica din fig. 25, *d* se obține cu ajutorul șurubului *15*: dacă, prin bobină, curentul va fi mare, armătura mobilă va fi atrasă instantaneu, determinînd acționarea contactului înainte de funcționarea dispozitivului de temporizare.

Acest tip de releu se execută cu reglaj de curent, prin variația prizelor bobinei *1*, reglajul de timp făcîndu-se cu ajutorul șurubului *9*, care lasă în jos sau ridică piesa de reglaj de timp (*10*).

Se realizează deobicei cu

— reglajul de curent 2,5 . . . 5 A și
5 . . . 10 A;
— reglajul de timp 2 . . . 10 s

Avantajul principal al acestui releu constă în faptul că organul său mobil, discul, este continuu în mișcare, chiar atunci cînd releul este în repaus, permițîndu-se astfel un control al bunei stări a releului, cum și evitarea eventualelor înțepeniri datorite unei stări de repaus prea îndelungate.

Releele electromagnetice secundare maximale de curent cu temporizare prin releu auxiliar se realizează cu relee netemporizate, de tipul descris mai înainte, iar acțiunea lor determină punerea în funcțiune a unui releu de timp auxiliar, astfel încît ansamblul va acționa cu întîrziere.

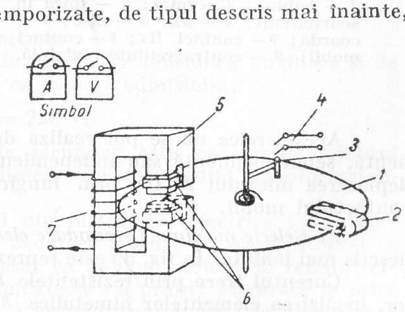


Fig. 37. — Releu de inducție maximal: *1* — disc; *2* — magnet permanent; *3* — contact mobil; *4* — contact fix; *5* — armătura fixă; *6* — spiră în scurtcircuit; *7* — bobină.

Din examinarea acestor tipuri de relee rezultă că numai tipul cu temporizare prin relee de inducție va putea avea caracteristică dependentă sau semidependentă, pe cînd celelalte nu vor avea decît o caracteristică independentă.

c) *Releele maximale secundare de inducție* se bazează pe principiul enunțat anterior. Discul de aluminiu este supus unui cuplu antagonist permanent, dat de un arc și care determină curentul reglat; acest disc este situat în întrefierul unui electromagnet (fig. 37) a cărui bobină este străbătută de curent. Datorită celor două spire în scurtcircuit *6*, discul va fi supus unui cuplu; dacă acest cuplu este mai mare decît cel antagonist al arcului, discul se va pune în mișcare cu o viteză oarecare, depinzînd de cuplul antagonist.

de frînare, a magnetului permanent 2. După trecerea unui timp oarecare, discul aduce contactul mobil 3 ca să închidă contactul 4.

O altă variantă a acestui tip de releu este așa numitul *releu cu coardă* (fig. 38). Acest releu este identic cu cel din fig. 37, numai că axul discului este orizontal. El nu are cuplul antagonist dat de un arc, ci de o greutate legată de ax printr-o sfoară. În cazul cînd cuplul activ al discului este mai mare decît cel antagonist dat de contragreutatea 9, discul se va roti, răsucind sfoara pe ax și aducînd în sus contragreutatea care, la un moment dat, închide contactul 8, determinînd acționarea releului.

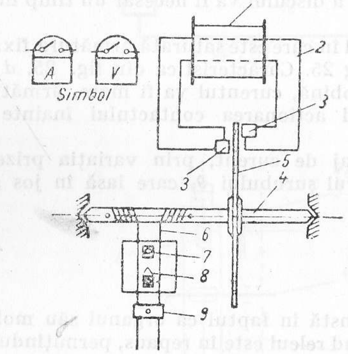


Fig. 38. — Releu de inducție secundar temporizat cu contragreutate (releu cu coardă):
1 — bobină; *2* — miez; *3* — spiră în scurtcircuit; *4* — ax; *5* — disc; *6* — coardă; *7* — contact fix; *8* — contact mobil; *9* — contragreutate reglabilă.

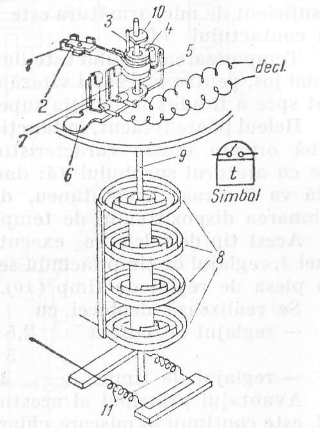


Fig. 39. — Releu termic secundar:
1 — paletă de contact; *2* — contact mobil; *3* — piesă de antrenare a contactului; *4* — camă; *5* — suport de arc; *6* — pîrghie de reglare; *7* — contact fix; *8* — elemente termice; *9* — ax; *10* — segment de antrenare; *11* — rezistențe de încălzire.

Aceste relee nu se pot realiza decît temporizate și cu caracteristică dependentă, semidependentă sau independentă. Temporizarea se poate varia, fie prin deplasarea miezului 2, fie prin lungirea coardei 6 sau prin plasarea pe ax a contactului mobil.

η) *Releele maximale secundare electrice termice* se bazează pe același principiu descris mai înainte. În fig. 39 este reprezentat un astfel de tip cu bimetal în rîndul
Curentul trece prin rezistențele *11*, care se încălzesc, determinînd la au un
lor, încălzirea elementelor bimetalice *8*. Acestea se răsucesc și, deoarece spirală.
punct fix, răsucesc axul *9*. Acesta antrenează, prin intermediul segmentului *10*, contactul mobil *2*, care se găsește pe paleta *1*. Paleta se rotește atingînd după cîtva timp, contactul fix *7*, determinînd, astfel, acționarea releului.

Prin variația poziției pîrghiei *6* se deplasează contactul fix, modificîndu-se astfel timpul de declanșare.

Caracteristica acestui tip de releu este cea dependentă. Reglarea curentului se face prin variația rezistențelor de încălzire, iar a timpului, prin pîrghia *6*. Uneori

este suficientă reglarea prin pîrghia *6*, deoarece, fiind o caracteristică de funcționare riguros dependentă, se pot influența cu succes ambii factori: *curent-timp*.

Caracteristica unui astfel de releu este dată în fig. 30, pentru diferitele constante de timp ale dispozitivului cu rezistență de încălzire, bimetal.

* * *

În general, releele secundare de curent sînt de curent alternativ. Deci se vor racorda la secundarul transformatoarelor de curent.

În acest scop, avînd în vedere că în secundar, deobicei, curentul nominal este de 5 A, releele maximale secundare de curent se construiesc, curent, pentru:

$$I_n = 5\text{A},$$

avînd reglajul de curent:

$$1 \ldots 2\, I_n,$$

și reglajul de timp:

$$t = 0 \ldots 10''.$$

Treptele de reglare variază de la tip la tip, mai sus fiind date cifrele limită. În cazuri speciale, — protecția la curenți mai mici, — se execută astfel de relee pentru două intensități:

$$2{,}5 \quad \text{și} \quad 5\text{A},$$

ca, de exemplu, la releul din fig. 33, prin legarea în serie sau în paralel a bobinelor

Dacă aceste relee maximale au o utilizare specială, ele pot fi folosite și cu alte valori; de exemplu, pentru a avea o caracteristică de forma din fig. 25 *d* cu relee netemporizate, se folosesc două relee: unul pentru curent mic, ca mai sus, cu un element de timp auxiliar și un alt releu maximal, pentru curent mare fără releu auxiliar. Cînd curentul este mic, acționează primul releu în caz contrar, intră în funcțiune și celălalt, determinînd închiderea sau deschiderea rapidă a contactului său.

Contactele releelor maximale de curent se pot realiza astfel:
contact (*e*) normal deschis (*e*);
contact (*e*) normal închis (*e*);
contacte normal deschise și normal închise.

Puterea de rupere a contactelor se ia în funcție de tensiunea auxiliară și de curentul necesar la declanșări. Deobicei se ia ca valoare admisibilă;

$$I = 0{,}5\ \text{A}; \quad U = 220\ \text{V}.$$

În același timp, releul, fie primar, fie secundar, este parcurs de curentul din instalație, în mod direct sau în mod indirect, prin intermediul transformatoarelor de măsură.

Cum în caz de scurtcircuite, curenții din instalațiile electrice pot atinge valori foarte mari, însă pe timp limitat și, deoarece tocmai în acest interval se cere să funcționeze releele, este absolut necesar ca bobina releului să reziste termic și dinamic. În general, stabilitatea dinamică este «a priori» asigurată la orice releu, din cauza micului număr de spire și a supradimensionării; se garantează însă, în general, stabilitatea termică de durată sau la timp limitat.

Se garantează astfel stabilitatea termică pentru $t = \infty$ și $t = 1''$.

Practic, valorile stabilității termice variază între:

$$I_{sc_{t=\infty}} \cong (1{,}1 \ldots 2)\, I_{n\,max}, \text{ al domeniului de reglare;}$$

$$I_{sc_{t=1''}} = (100 \ldots 150)\, I_{n\,min} \text{ al domeniului de reglare.}$$

În tabela 4 sînt date caracteristicile principale ale releelor secundare maximale de curent, temporizate, sovietice, iar în tabela 5 cele ale releelor netemporizate.

15. **Relee de tensiune.** Astfel de relee au rolul să detecteze tensiunea într-un anumit circuit: ele se mai numesc şi « relee voltmetrice ». Se execută:
— relee de tensiune maximă;
— relee de tensiune minimă;
— relee de tensiune nulă.

Cum la aceste relee se cere o precizie mult mai mare, deoarece variaţiile mici de tensiune sînt mult mai importante decît cele de curent, ele se execută, în majoritatea cazurilor, de tipul electromagnetic cu paletă (ca şi cel din fig. 32).

Releele de tensiune maximă sînt acţionate de creşterea tensiunii peste o anumită limită.

Releele de tensiune minimă sînt acţionate de scăderea tensiunii sub o anumită limită.

Releele de tensiune nulă sînt acţionate de dispariţia tensiunii.

În general, cu foarte rare excepţii, se execută netemporizate sau, cînd se temporizează, aceasta se face, fie prin releu auxiliar de timp, fie prin releu de inducţie încorporat.

Releele de tensiune nulă nu sînt relee de o construcţie specială, întrucît, la acestea, sezisarea făcîndu-se numai la o scădere totală a tensiunii, realizarea lor poate fi şi destul de rudimentară. Se construiesc, deobicei, de tipul cu armătura basculantă.

La aceste relee, celelalte caracteristice, afară de cele amintite mai sus, sînt asemănătoare celor de la releele electromagnetice secundare maximale de curent. Nu se poate pune problema unei stabilităţi termice la releele de tensiune, deoarece, în general, se cunoaşte totdeauna, cu suficientă exactitate, care este tensiunea de serviciu la care releul poate fi pus să funcţioneze. În acest sens, la releele de tensiune se va da totdeauna, ca cifră caracteristică, tensiunea maximă pe care bobinajul releului poate să o suporte în regim permanent.

În tabela 6 *a* sînt date caracteristicile principale ale releelor de tensiune electromagnetice secundare de provenienţă sovietică. În tabela 6 *b* sînt date caracteristicile releelor secundare electromagnetice de diferite fabricaţii.

16. **Relee de diferenţă sau diferenţiale.** Aceste relee sînt acţionate de diferenţa a doi sau a mai multor curenţi: sînt de tipuri diferite, şi anume:
— tipul ampermetric;
— tipul compensat sau procentual;
— tipul stabilizat sau de produs.

α) *Tipul ampermetric* este, de fapt, un releu maximal de curent, electromagnetic sau de inducţie, al cărui bobinaj este străbătut de diferenţa curenţilor, această diferenţă realizîndu-se printr-un montaj exterior releului. Din această cauză, releul nu are o construcţie specială şi, deoarece montajele exterioare releului, care formează aşa numitele scheme de protecţie, vor fi studiate în altă parte, nu se va descrie aici acest tip de releu.

Trebuie observat că, în acest caz, releul ampermetric fiind sezisat numai de diferenţa curenţilor, valoarea fiecărui curent în parte nu are nici influenţă asupra releului şi nici nu poate fi măsurată de acesta.

Deoarece un releu electromagnetic este influenţat de pătratul curentului, rezultă că, în acest caz, el va fi influenţat de pătratul diferenţei:

$$F = k\,(i_1 - \sum_{2}^{u} i_n)^2$$

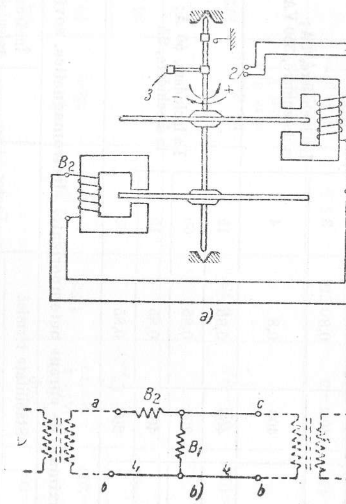
şi deci nu interesează semnul relaţiei din paranteză, adică semnul diferenţei. În acest caz el poate funcţiona, atît în curent continuu cît şi în curent alternativ.

Releul de inducţie influenţat tot de pătratul curentului va avea, evident, aceeaşi funcţionare, dar numai în curent alternativ.

Pentru motivele indicate mai sus, aceste relee se mai numesc şi relee diferenţiale neprocentuale sau relee de diferenţă necompensate.

β) *Tipul compensat sau procentual* se compune, de fapt, din combinarea mai multor relee electromagnetice maximale de curent. Ele se pot împărţi în:
— relee cu compensare prin bobină de reţinere simplă;
— relee cu compensare prin bobină de reţinere dublă.

Releele diferenţiale compensate printr-o singură bobină de reţinere se compun din două relee electromagnetice sau de inducţie, acţionînd asupra unui element motor comun. În fig. 40 este redat schematic un astfel de releu, de tipul cu inducţie. El este format din două discuri solidare la un acelaşi ax, fiecare disc fiind supus acţiunii unei bobine (B_1 şi B_2). Bobina B_1 se numeşte « bobină de diferenţă », iar B_2, « bobină de reţinere ».



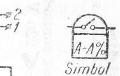


Fig. 40. — Releu diferenţial procentual compensat, de inducţie, cu o singură bobină de reţinere: *a* — construcţia; *b* — schema electrică; *1* — contact mobil; *2* — contact fix; *3* — arc; B_1 — bobină de diferenţă; B_2 — bobină de reţinere.

Cuplurile pe care cele două bobine B_1 şi B_2 le desvoltă asupra axului sînt proporţionale cu pătratele curenţilor care străbat aceste bobine. Releul este astfel aranjat, încît cuplul dat de B_1 să fie de sens contrar celui dat de B_2, şi anume, cuplul primei bobine tinde să rotească axul în sensul închiderii contactului, iar celălalt cuplu, în sens invers (sensul negativ din fig. 40 *a*).

Bornele releului se leagă la două circuite distincte (de ex: secundarele unor transformatoare de curent) astfel încît, între bornele *ab* va circula curentul i_1, iar între bornele *cb*, curentul i_2 (fig. 40, *b*).

Bobina B_1 va fi străbătută de suma sau de diferenţa curenţilor i_1 şi i_2, pe cînd bobina B_2 va fi străbătută numai de curentul i_1.

Asupra axului se mai exercită şi cuplul antagonist al arcului *3*; acest cuplu este de semn negativ (fig. 40 *a*). În acest fel axul va fi supus unui cuplu:

$$M = k_1\,(i_1 \pm i_2)^2 - k_2\, i_1^2 - k_3\,.$$

În cazul cînd i_2 este de semn contrar faţă de i_1 (cazul din fig. 41, *a*), pentru a se obţine închiderea contactului (cuplul rezultant pozitiv) trebuie ca:

$$i_2 \geqslant 2\, i_1, \text{ (pentru } k_1 = k_2).$$

Tabela 4. Caracteristicile releelor secundare maximale de curent temporizate sovietice

Tipul releului	Tipul releului și contactele sale	Limitele de reglaj		Stabilitate termică		Factor de revenire, K	Consumul bobinei la 5A, VA	Încercarea contactelor la $U \leqslant 220$ V	Dimensiunile soclului mm
	Un contact normal deschis	Curent, A	Timp, s	De durată, A	la 1 s A				
Releu maximal cu temporizare prin inducție seria IT–10	IT–11	4–10	0,25–2	10	400	0,8	3	La închidere, 3A; la deschidere, 350 VA	175×215
	IT–12	4–10	0,5 –4	10	400	0,8	4		
Idem seria IT–80	IT 81/1	4–10	0,5 –4	10	400	0,85	15	La închidere, 50 A; la deschidere, 2A	250×150
	IT 81/2	2– 5	0,5 –4	5	200	0,85	60		
	IT 82/1	4–10	16	10	400	0,85	15		
	IT 82/2	2– 5	16	5	200	0,85	60		

Tabela 5. Caracteristicile releelor secundare maximale de curent netemporizate, electromagnetice, sovietice

Tipul releului și felul contactelor			Limită de reglaj curent A	Stabilitate termică		Factor de revenire, K	Consum în VA	Încărcarea releului la $U \leqslant 220$ V curent continuu	Dimensiunile soclului mm
Un contact normal deschis	Un contact normal închis	Un contact normal deschis și un contact normal închis		De durată, A	La 1 s A				
ET 521/0,2	ET 522/0,2	ET 523/0,2	0,1–0,2	0,6	40	0,85	0,1	La închidere 50 W în curent continuu și 250 VA, în curent alternativ	94×128
ET 521/0,6	ET 522/0,6	ET 523/0,6	0,3–0,6	2	90				
ET 521/2	ET 522/0,2	ET 523/0,6	1–2	8	200				
ET 521/6	ET 522/6	ET 523/6	3–6	20	600				
ET 521/10	ET 522/10	ET 523/10	5–10	20	600				
ET 521/20	ET 522/20	ET 523/20	10–20	30	600				
ET 521/50	ET 522/50	ET 523/50	25–50	40	1 000				
ET 521/100	ET 522/100	ET 523/100	50–100	40	1 000				
ET 521/200	—	—	100–200	40	1 000	0,6			

Tabela 6 a. Caracteristicile principale ale releelor de tensiune sovietice

Caracteristica releului	Timpul releului și contactele sale		Tensiunea nominală, V	Tensiunea maximă admisibilă, V	Limitele de reglaj		Factor de revenire K	Consum în bobine, VA	Încercarea contactelor la $U \leqslant 250$ V	Dimensiunile soclului, mm	Greutate, kg
	Un contact normal deschis	Un contact normal închis			Tensiune, V	Timp, s					
Releu de tensiune maximă electromagnetic instantaneu seria EN 520	EN 524/60	EN 526/60	30–60 [1]	35–70 [1]	15–60	Timp propriu, 0,15 s pentru $U \leqslant 1{,}2\ U_{regl}$ și 0,02″ — 0,03 pentru $U \geqslant 1{,}2\ U_{reg}$	0,85	1 la tensiune minimă	La deschidere, 2 A; la închidere, 50 W, în curent continuu și 250 VA în curent alternativ	94×128	1,1
	EN 524/200	EN 526/200	100–200	110–220	50–200					94×128	1,1
	EN 254/400	EN 526/400	200–400	220–440	100–400					94×128	1,1
	—	EN 526/60 D	—	120–240	15–60					94×128	1,1
Idem de tensiune minimă seria EN 520	—	EN 528/48	—	35–70	15–60	Timp propriu, 0,15 s pentru $U = 0{,}8\ U_{regl}$	1,25	1 la tensiune minimă	idem	94×128	1,1
	—	EN 528/160	—	110–220	50–200					94×128	1,1
	—	EN 528/320	—	220–440	100–400					94×128	1,1
Releu de tensiune maximă de inducție	IN–139/3	—	100	110	25–100	0,1–0,7	0,75	4	La deschidere 3 A, 350 VA la închidere 350 VA, 1 A permanent 5 A la 5 s	172×215	5,5
Idem de tensiune minimă	IN–139/1	—	60	66	24–42	1–5	0,75	4,5		721×215	5,5
	IN–139/2	—	100	110	40–70	1–5	0,75	4,5			
	IN–138 (trifazat)	—	100	110	V între faze = 70	1–5	0,75	5,5			

[1]) Cele două cifre reprezintă legarea în serie sau în paralel a bobinelor (v. fig. 33).

Tabela 6 b. Caracteristicile releelor secundare electromagnetice temporizate şi netemporizate de diferite fabricaţii

Tipul	Fabricat	Caracteristici generale	Limite de reglaj curent şi timp	Limite reglaj tensiune	Numărul contactelor	Consum	Stabilitate termică la 1 s
RSf	RDG	Releu de curent alternativ monofazat netemporizat	(0,8–1,6) I I_n = 5, 10, 15, 20 şi 25 A	—	1 n.d. sau 1 n.i.	1	—
RSg 1	RDG	Releu de curent continuu	2, 4, 6, 8 şi 10 A direct (150 mV) fără reglaj intermediar	—	2 n.i. 2 n.d.	0,3	120×I_n
RSg 2	RDG	Releu de curent continuu cu blocaj de tensiune	150 mV cu reglare între (0,8–1,6) I_n	250 V (c.c.)	2 n.i. 1 n.d.	1 W la curent; 5 W la tensiune	—
RSZ 2f	RDG	Releu de curent trifazat cu două echipaje temporizat prin mecanism de ceasornic	I_n = 5 A (0,8–1,6) I_n (0,3–3) s (0,5–6) s (1–12) s	Tensiunea continuă la releu de timp: 24, 110 sau 220 V (c.c.)	1 n.d. temporizat 1 n.d. netemporizat	2 VA pe fiecare element (total 4 VA)	180 × I_n
RSZ 3f	RDG	Idem cu trei echipaje	idem	idem	idem	idem	idem
RSZ 2 W 2	RDG	Cu un echipaj pe suma curenţilor pe două faze (transformator de curent inclus)	I_n = 5 A (0,8–1,6) I_n (0–5) s	idem	idem	11 VA pe fază	40 × I_n
RSZ 3 W 2	RDG	Idem pe trei faze (cu 2 transformatoare de curent incluse)	idem	idem	idem	idem	idem
RSZ 2t	RDG	Releu de curent trifazat cu două echipaje temporizat prin releu termic	I_n = 3,2 A şi 5 A (0,8–1,6) I timpul rezultă din curbe	—	2 n.d. sau 2 n.i.		40 × I_n la 0,3 s
RSZ 3t	RDG	Idem cu trei echipaje	idem	—	3 n.d. sau 3 n.i.		idem
S 1	BBC	Releu maximal de curent cu temporizare prin releu de inducţie monofazat	I_n = (2,5–5) A (1 – 2) I_n (0,2 – 10) s [rapid la (3 – 6) I_n]	—	1 n.d. 1 n.i.	8 VA	100×I_n
S 2	BBC	Idem bifazat	idem	—	idem	8 VA pe fază	idem
S 3	BBC	Idem trifazat	idem	—	idem	idem	idem
ST	BBC	Releu maximal de curent monofazat cu temporizare prin releu termic	I_n = 5 A (0,8 – 1) I_n Constante de timp 20, 30, 40, 60, 80 şi 110 min.	—	2 n.d. 2 n.i.	3 VA	40×I_n
RVf	RDG	Releu minimal de tensiune netemporizat monofazat	—	U_n = 100 (110) V (0,45 0,85) U_n	1 n.d.	7 VA	—
RB+MLT	BBC	Releu maximal de curent temporizat prin mecanism de ceasornic, monofazat	I_n = (2,5–5 A) (1 – 2) I_n	Releu de timp 220 V (c.c.) 380 V (c.a.)	1 n.d. 1 n.i.	0,34 VA pe fază	135 × I_n

Această condiţie nu se realizează niciodată în practică. Deci, în acest caz, se poate considera că releul nu va acţiona.

În cazul cînd i_2 este de acelaşi semn cu i_1 (cazul din fig. 41, *b*), condiţia de închidere a contactului este:

$$(i_2 + i_1)^2 \geqslant \frac{k_2}{k_1}\, i_1^2 + \frac{k_3}{k_1}\,;$$

la limită:

$$(i_2 + i_1)^2 = \frac{k_2}{k_1}\, i_1 + \frac{k_3}{k_1}\,.$$

Curba:

$$(i_2 + i_1)^2 = f\,(i_1^2)$$

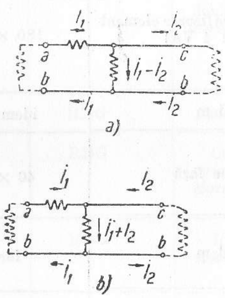


Fig. 41. — Modul de funcţionare a unui releu cu bobină simplă de reţinere:

a—curentul din *ab* de semn contrar celui din *cb*; *b*—curentul din *ab* de acelaşi semn cu cel din *cb*.

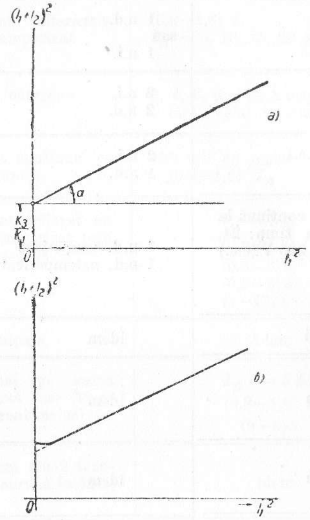


Fig. 42. — Caracteristica unui releu diferenţial compensat cu o singură bobină de reţinere: *a* — teoretic; *b* — practic.

se numeşte « caracteristica releului procentual », ea fiind o dreaptă (fig. 42). Rezultă că:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta(i_2 + i_1)^2}{\Delta i_1^2} = \frac{k_2}{k_1} = \text{constant}.$$

Aceasta înseamnă că închiderea contactului nu se face decît dacă suma curenţilor va reprezenta o anumită valoare din curentul i_1. Sau, notînd cu:

$$P\,\% = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}}\,100,$$

această valoare reprezintă procentul din i_1 la care releul va acţiona. Deaceea, releul se mai numeşte şi releu procentual, el acţionînd numai dacă diferenţa $[i_1 - (-\,i_2)]$ reprezintă un anumit procent din i_1 şi nu pentru o anumită valoare a diferenţei curenţilor, cum este cazul la releele de tip ampermetric.

Curba caracteristică este, în mod practic, de forma din fig. 42, *b*, prezentînd o uşoară deviere pentru curenţi mici.

Procentul P poate fi modificat prin variaţia constantelor k_1 şi k_2 ale bobinelor, ceea ce se realizează prin variaţia numărului de spire. Curba poate fi deplasată paralel cu ea însăşi, prin variaţia constantei arcului.

Deobicei se ia:

$$P = 10 \cdots 20\,\%.$$

La unele relee se dă curentul nominal:

$$i_1 = 5\text{A},$$

rezultind deci:

$$i_1 - (-\,i_2) = 0{,}5 - 1\ \text{A}.$$

R e l e e l e d i f e r e n ţ i a l e c o m p e n s a t e p r i n b o b i n ă d e r e ţ i n e r e d u b l ă prezintă o construcţie asemănătoare cu a celor cu bobină simplă, cu singura deosebire că pe electromagnetul bobinei de reţinere există două înfăşurări, una parcursă de curentul i_1, şi alta, de curentul i_2. Deoarece aceste două bobine se găsesc pe acelaşi miez, fluxul rezultant din întrefier va fi egal cu suma celor două fluxuri produse de fiecare dintre cele două bobine. Cum fiecare dintre cele două fluxuri este proporţional cu curentul respectiv, fluxul rezultant va fi proporţional cu suma curenţilor şi, prin urmare, cuplul proporţional cu pătratul sumei curenţilor (fig. 43).

Cuplul aplicat asupra axului va fi:

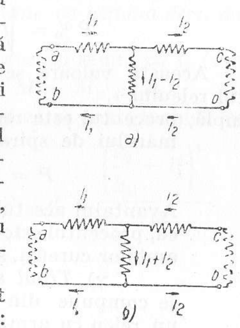


Fig. 44.

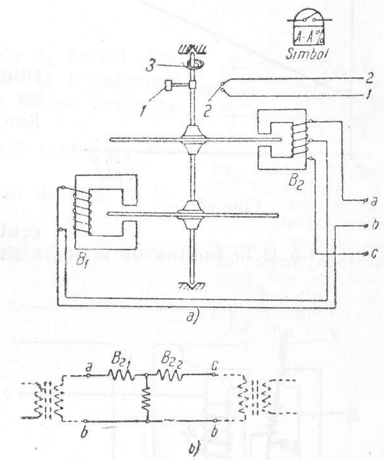


Fig. 43.

$$M = k_1\,(i_1 \pm i_2)^2 - k_2\,(i_1 \mp i_2)^2 - k_3\,,$$

după cum i_2 este de acelaşi semn sau de semn contrar cu i_1.

Dacă i_2 este de semn contrar cu i_1, pentru ca releul să acţioneze ($M > 0$) trebuie ca:

$$i_1^2 + i_2 - 2\,i_1\,i_2\,\frac{k_1 + k_2}{k_1 - k_2} > \frac{k_3}{k_1 - k_2},$$

pentru $k_1 = k_2$ condiţia devine:

$$-\,2\,i_1\,i_2 > \frac{k_3}{2k_1},$$

adică releul nu va putea acţiona, deoarece k_3 şi k_1 sînt pozitive.

Dacă i_2 este de acelaşi semn cu i_1 (cazul din fig. 44,*b*), condiţia de închidere a contactului este:

$$(i_1 + i_2)^2 \geqslant \frac{k_2}{k_1}\,(i_1 - i_2)^2 + \frac{k_3}{k_1}\,,$$

la limită:

$$(i_1 + i_2)^2 = \frac{k_2}{k_1}\,(i_1 - i_2)^2 + \frac{k_3}{k_1}\,,$$

care se mai poate scrie:

$$[i_1 - (-\,i_2)]^2 = \frac{k_2}{k_1}\left[\frac{i_1 + (-\,i_2)}{2}\right]^2 + \frac{k_3}{k_1}$$

curba

$$[i_1 - (-i_2)]^2 = f\left[\frac{i_1 + (-i_2)}{2}\right]^2$$

se numeşte caracteristica calculului procentual şi este o dreaptă (fig. 45).

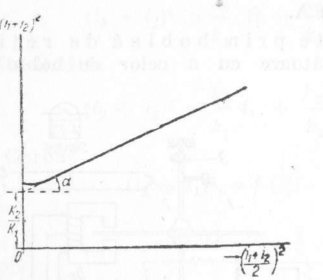


Fig. 45. —

Rezultă că:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta[i_1 - (-i_2)]^2}{\Delta\left[\frac{i_1 + (-i_2)}{2}\right]^2} = \frac{k_2}{k'_1} = \text{constant}.$$

Aceasta înseamnă că închiderea contactului nu se va face decît dacă diferenţa curenţilor va reprezenta un procent din media acestora. Sau, notînd cu:

$$P\,\% = \sqrt{\frac{k_2}{k'_1}}\;100.$$

Această valoare se mai numeşte şi «procentul releului».

Ca şi la bobina de reţinere simplă, procentul este reglabil prin variaţia numărului de spire. Se ia:

$$P = 10 \cdots 20\,\%.$$

Avantajul acestui releu constă în faptul că, procentul este dat în funcţie de media ambilor curenţi, şi nu de unul singur.

γ) Tipul stabilizat sau de produs se compune din două relee, şi anume: un releu cu armătură oscilantă în întrefierul unui electromagnet, şi al doilea, un releu obişnuit (fig. 46). Pe armătura fixă a primului releu se găseşte înfăşurarea B_2, iar pe armătura oscilantă, înfăşurarea B_1. Armătura oscilantă este supusă cuplului antagonist al unui arc 4, care o menţine în repaus într-o poziţie extremă; în cealaltă poziţie extremă, armătura oscilantă 2 poate închide contactul 3. Al doilea releu, de diferenţă are înfăşurarea B_3, iar armătura sa mobilă este supusă efortului dat de arcul 7, prin bascularea sa, armătura poate închide contactul 5.

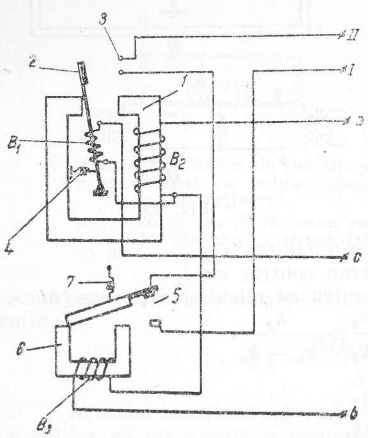


Fig. 46. — Construcţia unui releu diferenţial stabilizat:

1 — electromagnetul releului de produs; *2* — lamă oscilantă pentru contact; *3* — contact fix al releului de produs; *4* — arc antagonist; *5* — contact releu de diferenţă; *6* — releu electromagnetic de diferenţă; *7* — arc antagonist releu diferenţă.

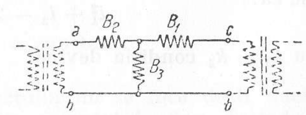


Fig. 47. — Schema de principiu a releului stabilizat din fig. 46.

Înfăşurările releului stabilizat sînt conectate ca în fig. 47, deci ca la un releu procentual compensat, iar contactele 3 şi 5 sînt legate în serie. În acest caz, pentru ca

să existe o acţiune a releului, ambele contacte 3 şi 5 trebuie să fie închise. Se vor analiza, pe rînd cele două relee componente. Releul cu armătură oscilantă va fi parcurs de cei doi curenţi i_1 şi i_2 (fig. 48), astfel încît, asupra armăturii se va exercita un cuplu:

$$M_a \approx k_1 i_1 i_2.$$

Cuplul rezistent al arcului va fi:

$$M_r = k_2,$$

iar cuplul efectiv la care este supusă armătura:

$$M = M_a - k_2.$$

Dacă i_1 este de semn contrar faţă de i_2 (cazul din fig. 48, *a*), rezultă că M va fi negativ, oricare ar fi valoarea lui i_1 sau i_2 şi, deci, contactul 3 nu se va putea închide, prin aceasta acţiunea releului fiind oprită.

Releul stabilizat nu va acţiona deci, dacă sensurile curenţilor sînt contrarii.

Dacă i_1 este de acelaşi semn cu i_2 (cazul din fig. 48 *b*).

$$M = M_a - k_2$$

poate deveni pozitiv, adică se poate închide contactul 3, dacă:

$$(i_2 + i_1)^2 \geqslant \frac{\left(\frac{k_2}{k_1} + i_1^2\right)^2}{i_1^2}.$$

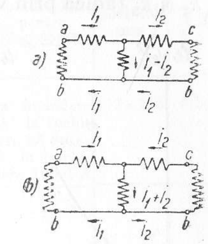


Fig. 48. — Modul de funcţionare a unui releu stabilizat:

a — curentul din *ab* de semn contrar celui din *cb*; *b* — curentul din *ab* de acelaşi semn cu cel din *cb*.

La limită,

$$(i_2 + i_1)^2 = \frac{\left(\frac{k_2}{k_1} + i_1^2\right)^2}{i_1^2},$$

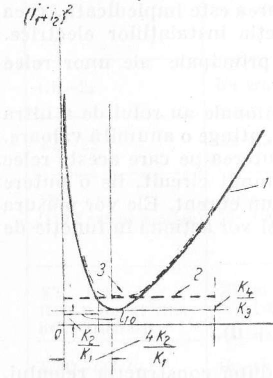


Fig. 49. — Caracteristicile elementelor componente ale unui releu stabilizat:

1 — caracteristica elementului de produs; *2* — caracteristica elementului de diferenţă; *3* — caracteristica rezultantă.

Această relaţie este reprezentată în fig. 49 (curba *1*); ea este caracteristică elementului de produs.

Releul electromagnetic va închide contactul său, dacă:

$$k_3\,(i_1 + i_2)^2 \geqslant k_4,$$

în care k_4 este cuplul, constant, dat de arcul 7.

La limită:

$$(i_1 + i_2)^2 = \frac{k_4}{k_3},$$

care, reprezentată, va da o dreaptă (curba *2* din fig. 49). Caracteristica rezultantă a releului stabilizat va fi cea punctată (caracteristica *3* din fig. 49).

Pentru un curent i_1^2 mai mic decît i_{10}^2, este necesar un curent $(i_1 + i_2)^2$ foarte mare pentru a produce acţiunea releului. Din această cauză se consideră că valoarea i_{10}^2 reprezintă curentul minim de demaraj.

În acest caz, caracteristica este compusă dintr-o porţiune dreaptă, adică $(i_1 + i_2)^2$ independent de i_1^2, după care urmează o porţiune curbă, care poate fi asimilată cu o dreaptă oblică. În prima porţiune, releul se poate asimila cu un releu tip ampermetru, iar în cea de a doua, cu un releu compensat. În acest caz, porţiunea dreaptă poate fi deplasată mai sus sau mai jos prin variaţia constantelor k_4 şi k_3 (adică prin variaţia numărului de spire ale elementului de diferenţă, sau prin variaţia tensiunii arcului) şi, deci, caracteristica de tip ampermetric poate fi prelungită, iar porţiunea curbă poate fi variată, ca înclinaţie, prin variaţia constantelor k_1 şi k_2, adică a numărului de spire a înfăşurărilor sau a tensiunii arcului de la elementul de produs. De aici rezultă că procentul releului:

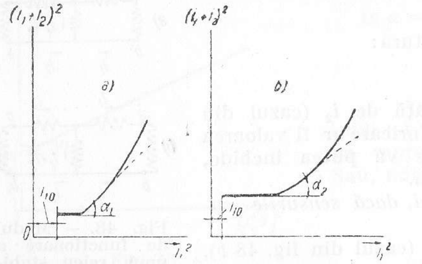


Fig. 50. — Caracteristica unui releu stabilizat:
a — cazul în care elementul de diferenţă este subreglat (tensiune mică la arc); *b* — cazul în care elementul de diferenţă este suprareglat (tensiune mare la arc).

$$P\,\% = \frac{\Delta\,(i_1 + i_2)^2}{\Delta\, i_1^2} =$$

$$= \frac{\Delta\,[i_1 - (-\,i_2)]^2}{\Delta i_1^2} = f\left(\frac{k_2}{k_1}\right),$$

aceasta reprezentînd aproximativ tangenta unghiului α din fig. 50.

Releul stabilizat permite deci realizarea unei caracteristici mixte: ampermetrice la început, şi procentuale pentru curenţi i_1 mari, dozarea caracteristicilor putînd fi obţinută prin elementele mecanice sau electrice constructive ale releului. Releul permite deci o elasticitate mai mare de reglaj.

În plus pentru i_1 de sens contrar faţă de i_2, acţionarea este împiedicată, ceea ce este deosebit de important, cum se va vedea la protecţia instalaţiilor electrice.

În tabelele 7 *a* şi 7 *b* sunt date caracteristicile principale ale unor relee diferenţiale.

17. Relee direcţionale sau de putere. Releele direcţionale au rolul de a intra în acţiune atunci cînd o anumită putere, măsurată de releu, atinge o anumită valoare. Deaceea, aceste relee se mai numesc şi relee de putere. Puterea pe care aceste relee o măsoară este, fie puterea reală care trece printr-un anumit circuit, fie o putere fictivă convenţională, adică produsul dintre o tensiune şi un curent. Ele vor măsura totdeauna produsul scalar dintre o tensiune şi un curent şi vor acţiona în funcţie de valoarea acestui produs.

În acest sens, un releu de putere măsoară:

$$P = UI\cos(\widehat{UI} + \theta) = UI\cos(\varphi + \theta).$$

Cînd această valoare este negativă sau pozitivă, după construcţia releului, acesta acţionează, determinînd închiderea unui contact. De aici denumirea de releu direcţional; cînd puterea măsurată de releu îşi schimbă sensul, releul acţionează.

Releele direcţionale pot fi: α) relee direcţionale electrodinamice, şi β) relee direcţionale de inducţie.

α) *Releele direcţionale electrodinamice* se realizează de tipul reprezentat în fig. 13. adică dintr-o bobină mobilă, situată în întrefierul unui electromagnet. Bobina mobilă se alimentează de la tensiunea dată, iar înfăşurarea electromagnetului este parcursă de curentul de care urmează să fie condiţionată acţionarea.

Tabela 7 a. Caracteristicile principale ale releelor diferenţiale electromagnetice şi de inducţie, sovietice

Tipul releelor şi contactele lor	Limitele de reglaj		Stabilitatea termică		Factor de revenire	Consumul în bobinaje, VA	Puterea de încercare a contactelor pentru $U \leqslant 220$ V	Dimensiunile soclului mm	Greutatea, kg
Un contact normal deschis	Curent, A	Timp, s	Curent de durată, A	Curent de 1 s, A					
IT-27	6–10	—	10	400	0,85	1,8	La închidere 1A; la închidere 1A durată; la deschidere 100 VA	172×215	5,5
IT-156	2–2,5	Dependent, cel mai mic 0,25	10	300	0,85	Bobina de lucru 5; bobina de frînare 1	»	»	»
IDB-211 (+VIN 561)	2,5–5	idem 0,01	5	250	—	15	»	»	»
IT-22	2,5–5	»	10	350	—	10	La închidere maximum, 3A; la deschidere 10 W	»	»
IT-25	4–7,5	»	10	350	—	4	»	»	»
IT-26	1,5–3	»	10	350	—	2,5	»	»	»
IT-125	4–7	idem timp propriu 0,02	10	250	—	4–1	»	»	»
EB-21	Nu are	»	5	250	—	70	La închidere 1 A	182×548	»
EB-22	Nu are	»	5	250	—	70	La închidere 10 A	»	»
KR-121 (110 V curent continu)	Minim 50–100 V	Timp propriu 0,02–0,03	10 (1,1 U_n)	400	—	7[1]) 8[2])	Nu se dă	182×548	—
KR-122 (220 V curent alternativ trifazat)	Minim 50–100 V	»	10 (1,1 U_n)	400	—	7[1]) 8[2])	»	»	—
ETD-551/40	10–40 mA	»	—	—	0,8	La curent de reglaj, minimum 0,01	La deschidere, 20 W curent continuu şi 10 VA curent continuu ($I \leqslant 0,5$ A)	94×128	1,2
ETD-551/50	12,5–50 mA	»	—	—	0,8	»	»	»	»
ETD-551/60	15–60 mA	»	—	—	0,8	»	»	»	»

[1]) Bobine legate în serie.
[2]) Bobine legate în paralel

Tabela 7 b. Caracteristicile principale ale releelor diferenţiale de diferite fabricaţii

Tip	Fabricat	Specificaţia caracteristicilor	Limite de reglaj curent	Număr de contacte	Consum	Stabilitatea termică la 1 s
RQS 2	RDG	Releu diferenţial trifazat electromagnetic cu o singură înfăşurare de frînare	$I_n = 5$ A reglaj: 1,5–3A (la curent zero la bobine de frînare) (la releul intermediar se aplică 24, 110 sau 220V c.c.)	3 n.d.	2,5 VA la bobina de frînare (funcţionare normală) 1–4 VA la bobina de lucru (pe fază)	—
RQS 3	RDG	Idem însă cu un releu intermediar suplimentar	idem	2 n.d.	idem	—
TG 3	BBC	Releu diferenţial trifazat electromagnetic cu două înfăşurări de frînare	$I_n = 5$A reglaj în cinci trepte	6 n.d.	5 VA pe fază	—
PTP	CSR	Releu diferenţial trifazat electromagnetic cu două înfăşurări de frînare şi temporizare	$I_n = 5$A Reglaj: (1,5–3) A (la releul intermediar 220 VA sau 110 V c.c.) Reglaj de timp de 0,5 s	3 n.d.	—	—

Dacă se montează în serie cu circuitul bobinei mobile (circuitul de tensiune) o impedanţă Z rezultă că axul acestui releu va fi supus unui cuplu:

$$M = K_1 \frac{U}{Z} I \cos(\widehat{UI} + \theta) - K_2,$$

în care K_2 este constanta arcului antagonist.

Releul va acţiona, cînd cuplul M va fi pozitiv.

Unghiul θ este datorit defazajului produs de impedanţa Z; notînd cu X reactanţa circuitului de tensiune, şi cu R, rezistenţa sa, rezultă:

$$\theta = \operatorname{arctg}\left(-\frac{X}{R}\right).$$

Valoarea lui θ determină domeniul de utilizare al releului. El poate avea orice valoare între $+90$ şi $-90°$; două valori sînt caracteristice, şi anume:

1) $\theta = 0$ adică $R \gg X$, ceea ce înseamnă că asupra axului se dezvoltă un cuplu:

$$M = K_1 \frac{U}{K} I \cos\varphi - K_2.$$

Astfel de relee se numesc « relee de putere activă », « relee wattmetrice » sau « relee cos φ ».

2) $\theta = \pm 90°$, adică $(X) \gg R$, ceea ce înseamnă că asupra axului se dezvoltă un cuplu:

$$M = K_1 \frac{U}{K} I \sin\varphi - K_2.$$

Astfel de relee se numesc « relee de putere reactivă », « relee varmetrice » sau « relee sin φ ».

În general, asupra valorii lui θ decid utilizarea releului, în schemele de protecţie, sau condiţiile de precizie, în funcţionarea pentru anumite valori ale lui φ.

Releele wattmetrice sînt de tipul simplu electrodinamic, în circuitul bobinei putîndu-se monta numai rezistenţe neinductive.

Releele wattmetrice nu sînt influenţabile în funcţionarea lor, în limite largi, de frecvenţă.

Releele warmetrice sau cele pentru $\theta \neq 0$ au intercalate, în serie cu bobina de tensiune, inductanţe sau capacităţi, ceea ce face posibilă utilizarea unui astfel de releu numai pentru frecvenţe bine determinate.

Releele wattmetrice se pot utiliza şi în curent continuu; în acest caz, cuplul lor devine:

$$M = K_1 \frac{U}{R} I - K_2.$$

β) *Relee direcţionale de inducţie* se realizează pe principiul contorului electric de inducţie. Practic, se compun dintr-un disc situat în întrefierul a doi electromagneţi, unul fiind excitat de curent, iar celălalt, de tensiune. Prin rotaţia discului într-un anumit sens se determină acţiunea releului (închiderea unui contact), pe cînd rotaţia în sens invers este blocată. Pe axul discului se găseşte un arc antagonist, care menţine discul într-una din poziţiile extreme.

Cuplul la care este supus discul este dat de relaţia:

$$M = K_1 \frac{U}{Z} I \sin(\widehat{UI} + \theta) - K_2,$$

în care Z este impedanţa proprie a bobinei de tensiune, iar K_2 este cuplul arcului antagonist.

Releul va acţiona cînd M va fi pozitiv, adică în sensul închiderii contactului de acţionare.

Unghiul θ este datorit defazajului produs de impedanţa Z:

$$\theta = \operatorname{arctg}\left(\frac{X}{R}\right).$$

Valoarea lui θ determină domeniul de utilizare a releului. El poate avea orice valoare între 0 şi 90°; două valori sînt caracteristice:

1) $\theta = 90°$, adică $X \gg R$, ceea ce înseamnă că asupra axului se dezvoltă un cuplu:

$$M = K_1 \frac{U}{X} I \cos\varphi - K_2.$$

Astfel de relee se numesc « relee de putere activă », « relee wattmetrice » sau « relee cos φ ».

2) $\theta = 0°$ $R \gg X$, ceea ce înseamnă că asupra axului se desvoltă un cuplu

$$M = K_1 \frac{U}{R} I \sin\varphi - K_2.$$

Astfel de relee se numesc « relee de putere reactivă », « relee varmetrice » sau « relee sin φ ».

Se observă că releele varmetrice nu se vor putea realiza decît pentru un sens bine determinat al puterii reactive, din cauză că reactanța impedanței Z nu poate fi decît inductivă.

Releele de putere se construiesc, deobicei, pentru a fi racordate la transformatoare de măsură. Din această cauză, în general, ele se realizează pentru următoarele valori nominale.

$$I_{nom} = 5 \text{ A};$$
$$U_{nom} = 100 \text{ V}.$$

Numărul de contacte pe care releul, în acțiunea sa, le comandă, depinde de utilizarea releului în schema de protecție.

În tabela 8 a și 8 b sînt cuprinse caracteristicile principale ale unor relee de putere.

Din relațiile care dau cuplul la care este supus echipajul mobil al releului rezultă că există o dependență între acest cuplu și tensiune, curentul și factorul de putere al circuitului:

Tabela 8 a. Caracteristicile principale ale releelor de putere (direcționale wattmetrice) sovietice

Tip	Cuplul releului proporțional cu	Elementele nominale		Stabilitatea termică			Funcționarea contactelor
		Curent, A	Tensiune, V	Curent de durată, A	Curent la o secundă, A	Supratensiuni de durată, W	
IM—141	UI cos $(\varphi+15°)$	5	100	10	300	110	1 normal deschis 2 normal deschis 1 normal închis
IM—141/2							
IM—142	UI cos $(\varphi+45°)$	5	100	10	300	100	1 normal deschis
IM—142/2		5	100	10	300	110	1 normal închis
IM—143/1		—	100	—	—	110	
IM—143/2	UI cos $(\varphi+12°)$	—	100	—	200 400	110	1 normal deschis
IM—143/3		—	100	—	300 600	110	
IM—147/1		5	100	2	60	110	
IM—147/2	UI sin $(\varphi+30°)$	5	100	10	300	110	1 normal deschis
IM—147/3		5	100	15	450	110	
IM—148	UI sin $(\varphi+30°)$	5	100	10	300	110	1 normal deschis 1 normal închis 2 normal deschis
IM—148/2							
IM—302 (trifazat)	UI cos $(\varphi+15°)$	5	100	10	300	110	1 normal deschis 1 normal închis
IM—143—B	UI cos $(\varphi+12°)$		100	—		100	1 normal deschis
IMB—171/1	UI cos $(\varphi-30°)$	5	100	5,5	—	110	1 normal închis

Pentru ca releul să acționeze trebuie ca:

$$M_a > M_r,$$

adică,

$$K_1 \frac{U}{Z} I \cos\,(\widehat{UI} + \theta) > K_2, \text{ la releele electrodinamice;}$$

$$K_1 \frac{U}{Z} I \sin\,(\widehat{UI} + \theta) > K_2, \text{ la releele de inducție.}$$

Dependența releului de variația tensiunii interesează în cazul cînd el este solicitat să acționeze, în schemele de protecție, contra supraintensităților mari (scurtcircuite) ca, de exemplu la protecția de distanță. În acest caz, dacă scurtcircuitul este foarte aproape, tensiunea la bornele releului este foarte mică și deci relațiile de mai sus pot să nu fie îndeplinite. Pe lîngă alte mijloace, proprii sistemului de protecție utilizat (eliminarea zonei moarte) se cere ca releul să funcționeze: pentru tensiuni cît mai joase, și să nu se deterioreze la tensiunea nominală.

Puterea necesară pornirii		Puterea folosită				Timpul de acționare la puterea (1,5—10) P reglat s	Posibilitatea de încărcare a contactelor	Dimensiunile soclului
la 5 A	la 100 A	Rezistența circuitului de curent		Înfășurare tensiune la $U = U_{nom}$				
		Legătură în serie Ω	Legătură în derivație Ω	VA	W			
5	—	0,16	—	30	—	0,5—0,2	La închidere 1 A continuu, 6 A timp de 5 s	
7	—	0,08	—	30	—	0,5—0,2	La deschidere 10VA	175×215
7	—	0,08	—	30	—	0,5—0,2		
0,15—0,6	—	9	2,3	34	6,2			
1—4/2—8	—	0,3	0,08	34	6,2	1—0,2	Idem 1A idem 6A 5″ Idem 60 VA	175×215
2—8	—	0,08	—	34	6,2			
15—100 VA	—	7	—	5	—			
60—300 VA	—	0,45	—	5	—	0,3—2,5	Idem 1 A idem 6A 5″	175×215
250—1000 VA	—	0,03	—	5	—			
5 VA	—	0,08	—	10	—	0,5—0,2	Idem	172×215 182×548
5 (pe fază)	100—120 pe fază	0,16	—	20	—	0,85—0,25	—	
2—1,2	—	4 VA la 5 A	—	—	—	—	—	
13	> 40	60 VA la 5 A	—	35	—	0,05 la 5 P_{regl}	50 W la deschidere	175×195

Tabela 8 b. Caracteristicile principale ale reelor de putere (direcţionale, wattmetrice) de diferite fabricaţii

Tip	Fabricat	Specificaţia caracteristicilor	Cuplul maxim la:	Contacte	Curent A	Tensiune V	Stabilitatea termică la 1s
R Rg2	RDG	Releu direcţional de curent continuu	–	1 n.d. 1 n.i.	20 mV (cu şunt)	24 (c.c.) 110 (c.c.) 220 (c.c.)	$30 \times I_n$ (la 5 s)
RRg2h	RDG	Idem avînd un releu intermediar în plus	–	idem	idem	idem	idem
RR	RDG	Releu direcţional electrodinamic de curent alternativ combinat cu releu intermediar, monofazat	$\varphi = 0^0$	1 n.d.	5 A	100/110 V (250 V c.c. la releul intermediar)	–
RR 3	RDG	Idem trifazat	idem	1 n.d.	5 A	idem	–
RSRg 3	RDG	Releu direcţional monofazat combinat cu releele maximale de intensitate pe două faze	$\varphi = 0$	1 n.d.	$I_n = 5$ A reglaj la releele maximele între 6–10 A	100/110 V (250 V c.c. la releul intermediar)	$60 \times I_n$
RSRw3	RDG	Idem cu acţionare prin curentul transformatoarelor de intensitate	$\varphi = 0$	1 n.d.	5 A (Reglajul releului de intensitate 6–10 A	100 la 110 V	$60 \times I_n$
RSRg 4 K sau F	RDG	Idem cu acţionare prin curent continuu şi pentru transformatoare de clasa Y/Δ	$\varphi = 33^0$ la tipul F $\varphi = 60^0$ la tipul K	1 n.d. 1 n.i.	idem	idem (la releul intermediar 250 V c.c.)	–
RER	RDG	Releu direcţional monofazat pentru protecţia contra punerilor la pămînt	$\varphi = 90^0$ (tipul sin φ) $\varphi = 0^0$ (tipul cos φ)	1 n.d.	5 A 2 A 1 A 0,5 A	100/110 V	–
RERG	RDG	Idem pentru generatoare	idem	idem	idem	idem	–

Practic, se cere ca releul să acţioneze corect, începînd de la o tensiune la bornele sale, de:

$$U_{min} = 2 \text{ V},$$

pentru I_{nom} şi $\cos \varphi = 0{,}5$.

Dependenţa releului de variaţia intensităţii interesează numai la acele relee, care, în funcţionare normală, trebuie să acţioneze pentru un anumit sens de scurgere al puterii. Acest caz se întîlneşte, de exemplu, la protecţia reversibilă a generatorului sincron. În acest caz, curentul de acţionare minim trebuie să fie cît mai apropiat de 0.

Practic, se cere ca releul să acţioneze corect, începînd de la un curent care străbate înfăşurarea sa, de:

$$I_{min} \approx 0{,}1 \text{ A}.$$

pentru U_{nom} şi $\cos \varphi = 0{,}5$.

Dependenţa releului de variaţia factorului de putere interesează în toate cazurile de funcţionare. Pentru a se obţine o funcţionare corectă se cere ca:

$$(\widehat{UI} + \theta) \geqslant 1°.$$

La releele wattmetrice se admite:

$$(\widehat{UI} + \theta) \cong 2°.$$

Dintre cele două tipuri de relee de putere, cel electrodinamic prezintă avantajul unei sensibilităţi mai ridicate. Cel de inducţie este însă mai uşor de realizat.

Observaţie importantă. La releele de putere nu se permite modificarea tensiunii nominale a înfăşurării de tensiune prin introducerea de rezistenţe suplimentare adiţionale, sau micşorarea rezistenţelor proprii ale releului. Releul va trebui folosit cu rezistenţele cu care a fost livrat.

Adăugirea rezistenţelor sau scoaterea acestora atrage după sine modificarea zonei de funcţionare a releului.

Fac excepţie releele electrodinamice wattmetrice şi de inducţie varmetrice, la care, acest lucru este permis.

18. **Relee de impedanţă**. În schemele de protecţie, în sistemele electrice moderne, se utilizează foarte curent protecţia de distanţă. Această protecţie se bazează pe faptul că dispozitivele respective acţionează într-un mod convenţional, în funcţie de distanţa dintre locul unde s-a produs perturbaţia (locul defectării) şi locul unde se găseşte releul. Este deci necesar să existe relee capabile să măsoare această distanţă.

Măsurarea distanţei se poate face prin determinarea elementelor electrice care sînt funcţie de aceasta. Dacă, în momentul unei defectări, impedanţa măsurată a porţiunii respective este egală cu:

$$\overline{Z} = R + jX;$$

se observă că:

$$R = f_1\,(l);$$

$$X = f_2\,(l),$$

şi rezultă deci, că:

$$\overline{Z} = f_3\,(l).$$

Prin urmare, pentru determinarea lungimii, a distanţei dintre releu şi locul defectării, se pot măsura oricare dintre parametrii $\overline{Z}$, X, R şi, cunoscîndu-se funcţia de dependenţă, se poate stabili, deci, distanţa dorită.

Releele care pot măsura direct impedanţa şi indirect distanţa se numesc « relee de impedanţă ».

Dacă se notează:

$$Z = \frac{U}{I}$$

se observă că releul de impedanţă se realizează prin măsura lui I şi U, şi apoi făcîndu-se raportul celor două mărimi.

Trebuie observat că raportul lui U cu I va da impedanţa,dacă aceste două mărimi sînt raportate independent de faza reciprocă, aşa dar releul nu trebuie să fie influenţat de defazajul dintre curent şi tensiune.

Releele de impedanţă pot avea orice element de pornire; electromagnetic, de inducţie etc. Ele diferă numai prin elementul de măsură. Aceste relee se construiesc de două tipuri: α) relee de impedanţă electromagnetice şi β) relee de impedanţă de inducţie;

α) *Relee de impedanţă electromagnetice.* Elementul de măsură al acestor relee este compus dintr-o armătură mobilă, făcută dintr-o carcasă pe care sînt înfăşurate două bobine (fig. 51). Carcasa mobilă este menţinută în repaus, într-o poziţie inferioară, de tensiunea, foarte mică, a unui arc. Carcasa este aşezată în întrefierul unui magnet permanent *7*; prin deplasarea acesteia în sus, se poate închide contactul *8*, care determină acţionarea releului.

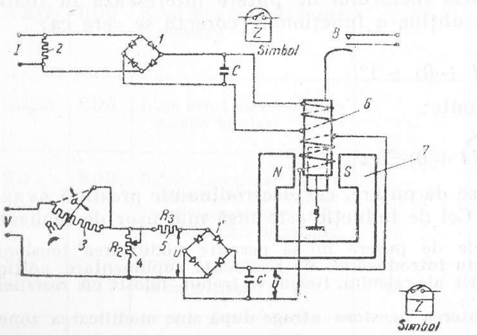


Fig. 51. — Releu de impedanţă cu redresor şi cu bobină mobilă:

1 şi *1'* — redresoare uscate; *2* — rezistenţă; *3* — rezistenţă variabilă; *4* şi *5* — rezistenţe; *6* — bobină mobilă; *7* — magnet; *8* — contact.

Una dintre cele două bobine este parcursă în funcţionare de un curent continuu, obţinut de la bornele unui dispozitiv de redresare în punte *1* şi a unei celule de filtraj *C*. La bobinele redresorului se aplică o tensiune obţinută la capetele unei rezistenţe *2*, parcursă de curentul secundar al unui transformaor de intensitate.

Cealaltă bobină este parcursă tot de curent continuu, obţinut de la un redresor şi un dispozitiv de filtraj asemănător ca şi la cealaltă bobină. Alimentarea redresorului se face de la sursa de tensiune U (bobinajul secundar al unui transformator de tensiune) prin intermediul rezistenţelor *3*, *4* şi *5*.

Rezistenţa R_1 este variabilă şi este acţionată de un dispozitiv avînd o deplasare unghiulară proporţională cu timpul; rezistenţa R_2 este reglabilă, iar R_3 este fixă.

Deoarece rezistenţa *2*, şi redresorul *1* au o caracteristică liniară (lipsită de inductanţă proprie), se poate scrie că

$$i_1 = k_1 I,$$

în care i_1 este curentul care străbate bobina de curent;
I — curentul din circuitul principal;

tot astfel:

$$i_2 = k_2 u,$$

în care i_2 este curentul care străbate bobina de tensiune;
u — tensiunea la bornele bobinei.

Curenţii i_1 şi i_2 parcurgînd bobinele respective vor determina asupra carcasei două forţe şi anume: curentul i_1 tinde să ridice bobina, adică în sensul acţionării, pe cînd curentul i_2 tinde să tragă bobina în sens invers.

Forţele sînt:

$$F_1 = K_1 I^2,$$
$$F_2 = K_2 u^2.$$

La egalitate carcasa nu este supusă nici unei forţe active. Pentru ca să se producă acţionarea trebuie ca:

$$F_1 > F_2,$$

aceasta neglijînd forţa arcului (foarte mică).

Notînd cu t timpul,

$$u = \frac{UR_2}{R_1 + R_2} = \frac{UR_2}{k'\alpha + R_2} = \frac{UR_2}{k.t + R_2}$$

Deci, condiţia iniţială este la limită:

$$K_1 I^2 = K_2 \left[\frac{UR_2}{k \cdot t + R_2}\right]^2$$

sau

$$K_1' I = K_2' \frac{UR_2}{k \cdot t + R_2}$$

şi deci,

$$k \cdot t + R_2 = \frac{K_2'}{K_1'} R_2 \cdot \frac{U}{I} = K\ Z,$$

deci:

$$Z = K_1'' t + K_2''$$

adică timpul la care releul acţionează este proporţional cu impedanţa din circuitul primar (K_1'' şi K_2'' constante).

Acest releu prezintă avantajul că este strict independent de decalajul dintre curent şi tensiune, şi dezavantajul că necesită dispozitive complicate (deplasarea proporţională cu timpul a unui cursor pe rezistenţa R_1 şi care, pentru curenţi mici, nu se pot considera perfect liniare [1]).

β) *Relee de impedanţă de inducţie.* Elementul de măsură al acestui releu se compune dintr-un disc, deobicei de aluminiu *1*, care poate pivota în jurul unui ax central şi care are o formă specială (fig. 52). Pe disc se găsesc două tăieturi, în lungul unui diametru, care au rolul de a separa electric, în două jumătăţi, discul respectiv (de fapt, prin tăieturi nu se separă complet o jumătate de cealaltă, însă cele trei istmuri rămase vor prezenta o rezistenţă mult mai mare la trecerea unui curent electric, astfel încît separaţia este practic îndeplinită). Discul este aşezat în întrefierul a doi electromagneţi *2* şi *3*, fiecare avînd o spiră în scurtcircuit *5*, ca la releele electromagnetice de curent alternativ.

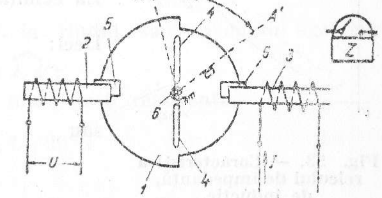


Fig. 52. — Releu de impedanţă, de inducţie:

1 — disc; *2* — electromagnet de intensitate; *3* — electromagnet de tensiune; *4* — tăieturi în disc; *5* — spire în scurtcircuit; *6* — arc de revenire.

În repaus, un arc foarte slab aduce discul în poziţia extremă *A*.

[1]) Pentru valori mici ale tensiunii la borne, redresoarele au o caracteristică pătratică.

Forma exterioară a discului este alcătuită din două fragmente de spirală logaritmică. O rotire a discului spre electromagnetul *3* face ca o porţiune din disc să pătrundă din ce în ce mai mult în întrefier.

O rotire spre *2* realizează acelaşi lucru, dar la celălalt electromagnet. Astfel, o rotire într-un sens face ca discul să pătrundă mai mult către un electromagnet şi să iasă de la celălalt.

Se aplică un curent prin bobinajul *3* şi o tensiune la bornele bobinajului *2*. Neglijînd tensiunea arcului (foarte mică) şi deoarece cele două jumătăţi ale discului pot fi considerate separate, din punct de vedere electric, fiecare dintre cei doi electromagneţi va da cîte un cuplu:

$$M_1 = f_1(\alpha)\, U^2, \quad \text{cel de tensiune};$$

$$M_2 = f_2(\alpha)\, I^2, \quad \text{cel de curent};$$

funcţiile de α apar deoarece discul, prin mişcarea sa, face să varieze, în funcţie de această deplasare, porţiunile din întrefier.

Cuplurile sînt de semn contrar; afară de aceasta, datorită formei spiralate, creşterea de suprafaţă a discului din întrefierul bobinelor respective va fi o funcţiune liniară de α. Dar, pe măsură ce, considerînd pentru α sensul pozitiv din figură, pentru *3* suprafaţa creşte cu α, pentru *2*, scade cu α. Deci:

$$f_2(\alpha) = k_2\, \alpha;$$

$$f_1(\alpha) = \frac{k_1}{\alpha}.$$

şi deci:

$$M_1 = k_1 \frac{U^2}{\alpha};$$

$$M_2 = k_2\, \alpha\, I^2.$$

Constructiv se ia:

$$k_1 = k_2 = k.$$

La echilibru:

$$M_1 = M_2.$$

Deci:

$$\alpha^2 = \frac{U^2}{I^2}$$

sau

$$\alpha = \frac{U}{I} = Z,$$

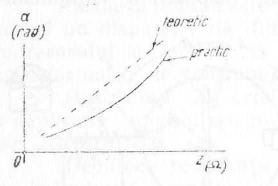


Fig. 53. — Caracteristica releului de impedanţă, de inducţie.

adică deviaţia discului măsoară chiar impedanţa.

În realitate, datorită impedimentelor constructive, relaţia practică ce se poate obţine este:

$$\alpha = Z^n,$$

în care n este foarte apropiat de 1 (fig. 53).

Acest tip de releu este mult mai simplu decît cel precedent, prezintă însă dezavantajul că, la curenţi şi la tensiuni mici, este insensibil, şi, deoarece nu se poate izola perfect electric [1]), cele două jumătăţi prezintă oarecare dependenţă între α şi $\cos\varphi$.

[1]) Din cauza dificultăţilor constructive.

În tabela 9 sînt cuprinse caracteristicile principale ale unor relee de impedanţă şi de inducţie.

19. **Relee de reactanţă.** La reţele electrice, reactanţa creşte proporţional (aproximativ) cu lungimea. Astfel încît:

$$X = f(l) \cong Kl.$$

În protecţia de distanţă se poate utiliza deci, pentru determinarea lungimii defectate a unei reţele, în locul măsurării impedanţei, măsurarea reactanţei. Aceasta prezintă avantajul, la linii aeriene în special, că rezistenţa de scurtcircuit, care ar putea da naştere la o falsă măsurare de impedanţă, nu perturbă măsurarea. Măsurarea reactanţei prezintă însă şi desavantaje, astfel încît utilizarea acestui releu în locul celui de impedanţă se face numai pe baza consideraţiilor locale [1]).

Releele de reactanţă au elementele de măsură exclusiv electrodinamice.

În fig. 54 este reprezentat elementul de măsură la un astfel de releu. Acesta se compune din două elemente electrodinamice, *A* şi *B*, legate solidar la o armătură *1*. Cele două elemente au o bobină de intensitate, parcursă de curentul principal, şi o bobină de tensiune, care, la primul este legată, prin intermediul inductanţei *2*, la sursa de tensiune, iar la celălalt, la bornele unei rezistenţe inserate în circuitul de curent.

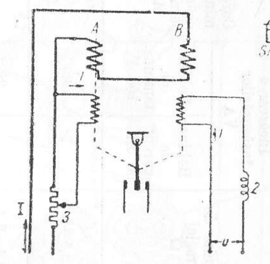


Fig. 54. — Releu de reactanţă electrodinamic:
1 — armătură mobilă; *2* — inductanţă; *3* — rezistenţă; *A*, *B* — elemente electrodinamice.

Elementul *A* va exercita asupra armăturii *1* un cuplu egal cu:

$$M_1 = k_1 I\, i \cos \widehat{I\, i};$$

însă

$$i = k_2 I,$$

deci

$$M_1 = k I^2.$$

Elementul *B* va exercita asupra armăturii *1*, la rîndul său, un cuplu egal cu

$$M_2 = k_3\, I i' \cos \widehat{I, i'};$$

dar, deoarece reactanţa lui *2* este mult mai mare decît rezistenţa,

$$i' = k_4 \frac{U}{z} \lfloor 90^\circ = k_5\, U \lfloor 90^\circ;$$

deci,

$$M_2 = k' U I \cos(90^\circ - \varphi) = k' U I \sin\varphi.$$

Cele două cupluri sînt de sens contrar; la echilibru

$$M_1 = M_2;$$

$$\frac{UI \sin\varphi}{I^2} = \frac{k}{k'} = Z \sin\varphi = X.$$

La o valoare a reactanţei imediat superioară valorii pentru care elementul a fost reglat, armătura va bascula, închizînd unul dintre contacte. Dacă reactanţa scade, este acţionat celălalt contact.

În tabela 10 sînt date caracteristicile principalelor relee de reactanţă sovietice.

[1]) Un dezavantaj ar fi de exemplu sensibilitatea excesivă la pendulaţie a releelor de reactanţă.

Tabela 9. Caracteristicile releelor de impedanţă sovietice

Tip	Curent nominal, A	Tensiunea nominală, V	Felul contactelor	Supraîncărcarea admisibilă		Curent 1 s A	Factor de revenire K	Limite de reglaj Ω	Încărcarea înăsurărilor VA		Curent minim de pornire A	Puterea contactelor la $U \leqslant 220$ V	
				Curent, A	Tensiune, V				Bobine de curent la 5A	Bobine de tensiune 100 V		La închidere A	La deschidere VA
II–111	5	100	1 nom. deschis 1 nom. închis	10	110	250	0,85	2,5–5	7	30	—	4–15	100
II–121	5	100	1 n.d.	10	—	250	—	0,4–2,4 0,2–1,2	—	28 128	15	—	—
II–122	5	100	1 n.d.	10	—	250	—	1,2–7,2 0,6–3,6	—	4 12,5	15	—	—

Tabela 10. Caracteristicile releelor de reactanţă sovietice

Tip	Curentul nominal A	Tensiune nominală V	Tensiune auxiliară curent continuu V	Supraîncărcare admisibilă		Curent la 1 s A	Element de primire (Z)				Element de reactanţă (X)						
				Curent A	Tensiune V		Curent minimal A	Limite de reglaj la 20 Ω	Consum: Bobina de curent 5A, V	Consum: Bobina de tensiune la 100 VA	Reglaj minim: pe fază	Reglaj minim: total	Reglaj de timp, s: I zonă	Reglaj de timp, s: II zonă	Reglaj de timp, s: III zonă	Consum bobine VA: Curent la 5 A	Consum bobine VA: Tens. la 100 V
IR–105/0,5	5	100	110 220	5	110	200	1	2,5–5	7	30	0,25	0,5	circa 0,2	de la 0,75	la 10	13	20
IR–105/1	5	100	110 220	5	110	200	1	2,5–5	7	30	0,5	1	circa 0,2	de la 0,75	la 10	13	20

20. Relee de temperatură. Sînt alcătuite, de fapt, din relee termice, de tipul cu bimetal, termometrice sau cu gaz.

21. Relee de gaz. Au fost studiate în § 11 (v. fig. 24).

22. Relee de timp. Releele de timp sînt folosite pentru a întîrzia acţiunea unui releu de protecţie oarecare.Acest releu face parte deci din releele auxiliare; ele se pot realiza de tipuri foarte variate, depinzînd de modul de obţinere a efectului întîrzietor. Există următoarele tipuri:

– relee de timp, cu întîrziere prin curenţi turbionari (Foucault);

– relee de timp, cu întîrziere mecanică.

Oricare ar fi tipul releului, principiul este următorul: dacă se excită releul, acesta va închide la rîndul său un contact, determinînd astfel închiderea sau deschiderea unui circuit.

În fig. 55 este reprezentat un releu de tipul EV 182, cu temporizare mecanică şi cu contacte multiple. Prin excitarea bobinei *1*, pinionul *2* este tras spre bobină, producînd rotirea pinionului *2'*. Acesta face să se armeze arcul *3*, care antrenează roata dinţată (*6*); aceasta nu se poate roti liber, ci este întîrziată în mişcarea sa de balansierul *5*. După trecerea unui timp oarecare lama de contact *8* atinge contactul fix *9*, închizîndu-l temporar şi apoi celălalt contact fix *10*. Prin închiderea succesivă a acestor două contacte [*9* pasager, *10* definitiv] se stabileşte circuitul respectiv.

Timpul poate fi reglat direct în secunde, prin deplasarea contactelor fixe pe o scală gradată.

Se realizează relee cu temporizări:

$$t = 0{,}5 \ldots 20 \text{ s.}$$

Bobina de acţionare este, în general, de curent continuu. În tabela 11 *a* şi *b* sînt date caracteristicele unor relee de timp.

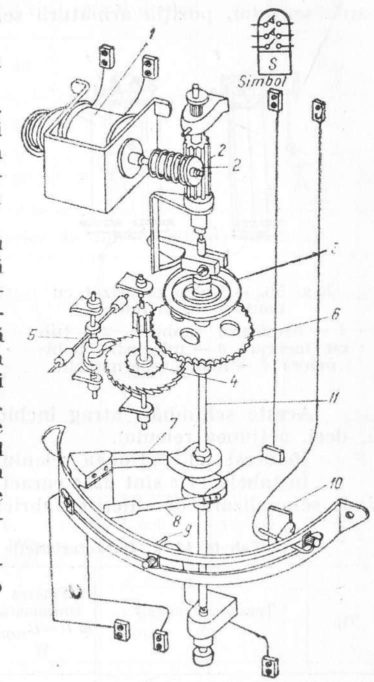


Fig. 55. – Releu de timp: *1*–bobină de acţionare (curent continuu); *2* – pinioane de antrenare; *3* – arc; *4* – roată cu clichet; *5* – balansier; *6* – roată dinţată; *7* – contact iniţial (normal deschis); *8* – lamă de contact; *9* şi *10* – contacte fixe (reglabile).

23. Relee contactoare. Releele contactoare sînt folosite ca relee auxiliare intermediare în schemele de protecţie. Ele se execută totdeauna de tipul electromagnetic descris anterior.

În unele cazuri, se utilizează în scheme de protecţie şi releul polarizat, ca releu conctator auxiliar (fig. 56).

Acesta se compune din două bobine *3*, legate în serie; în faţa acestor bobine se găseşte o armătură mobilă *1*, de care este legat solidar un tub de contact, cu mercur. Suportul bobinelor se fixează la un magnet permanent *4* în formă de *U*.

Modul de funcţionare a unui astfel de releu este reprezentat în fig. 57. Dacă bobinele nu sînt parcurse de curent atunci, datorită magnetului, asupra armăturii mobile se exercită două forţe egale şi de semn contrar, în cazul cînd aceasta ocupă o poziţie mijlocie. Dacă armătura se apropie de una din bobine

atunci va fi atrasă de aceasta: în orice caz poziţia armăturii mobile este labilă putînd fi lipită, fie de armătura unei bobine, fie de cealaltă.

Dacă bobinele sînt străbătute de un curent de un anumit sens (arbitrar pozitiv), unul dintre fluxuri se măreşte (cel de acelaşi sens cu fluxul remanent), iar celălalt se micşorează; în felul acesta, armătura capătă o poziţie determinată, independentă de valoarea curentului şi dependentă numai de sensul său. La schimbarea sensului, poziţia armăturii se schimbă.

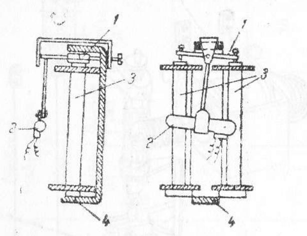


Fig. 56. — Releu polarizat cu contact de mercur: 1 — armătură mobilă; 2 — tub cu mercur; 3 — miezurile bobinelor; 4 — magnet permanent.

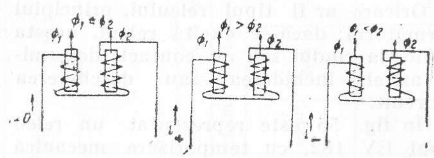


Fig. 57. — Funcţionarea releului polarizat.

Aceste schimbări atrag închiderea sau deschiderea contactului cu mercur şi, deci, acţiunea releului.

În acest fel, acţiunea releului este condiţionată de sensul curentului.

În tabela 11 *c* sînt date caracteristicile principale ale unor relee intermediare şi de semnalizare de diferite fabricaţii.

Tabela 11 a. Caracteristicile principalelor relee de timp, sovietice

Tip	Tensiune nominală, V	Puterea consumată la $U=U_{nom}$ W	Reglaj de timp, s	Contacte	Încercarea contactelor, A	Puterea contactelor la $U\leqslant U_{nom}$ W
RV	24, 48, 110 şi 220 V curent continuu	45	0,5–3	1 normal deschis	5	200
TV	Idem	45	2–10	»	5	200
EV 181	Idem	40	0,25–4	»	10	200
EV 182	Idem	40	0,5–10	»	10	200
EV 184	Idem	40	0,5–10	»	10	200
EV 186	Idem	40	0,25–4	»	1	20
EV 187	Idem	40	0,5–10	»	10	20
EV 201	Idem curent alternativ	70	0,25–4	1 normal deschis	10	200
EV 202	Idem curent alternativ	70	0,5–10	»	10	200
RV 73	Idem curent continuu	15	0,5–6 şi 20	»	—	—
RV 75	Idem curent alternativ	—	0,5–6 şi 20	»	—	—

Tabela 11 b. Caracteristicile principale ale releelor de timp de diferite fabricaţii

Tip	Fabricat	Tensiune	Reglaj timp	Contacte	Consum	Observaţii
RZf	RDG	24 V (c.c.) 110 V (c.c.) 220 V (c.c.)	0,3– 3 s 0,5– 6 s 1 –12 s	1 n.d. temporizat 1 n.d. rapid	20 W	—
RZt	RDG	pînă la 250 V (c.c.)	10–150 s 20–280 s	1 n.d. sau 1 n.i.	20 W	—
RZlw	RDG	110 V (c.a.) 220 V (c.a.)	10–100 s 0,5– 6 min 3–30 min	1 n.d. 1 n.i.	12 VA	—
RZaw3	RDG	220/380/500 V (c.a.)	1,8 s fix	1 n.d. 1 n.i.	15 VA	—
RZag3	RDG	pînă la 440 V (c.a.)	idem	idem	12 W	—
RZk	RDG	250 V (c.c.) 380 V (c.a.)	0– 2 s 0– 6 s 0–20 s	1 n.d. 1 n.i	12 W 15 VA	—
RZka	RDG	idem	idem dar la revenire	idem	idem	—
PA (1 la 5)	BBC	idem	0,1 –0,3 s 0,1 –0,5 s 0,25–1 s 0,5 –2 s 1–5 s	4 n.d. 4 n.i.	20 W 45 VA	—
PR (1 la 5)	BBC	idem	idem dar la revenire	idem	idem	—

Tabela 11 c. Caracteristicile releelor intermediare şi de semnalizare de diferite fabricaţii

Tip	Fabricat	Tensiune	Contacte	Consum	Curent prin contacte la 220 V (c.c.)		Observaţii
					la închidere	la deschidere	
RH 21	RDG	24, 110, 220 V (c.c.) 110, 220 şi 380 V (c.a)	2 n.d. 2 n.i.	4 W 20 VA	9 A	1,5 A	Releu intermediar
RH 40	RDG	24, 110, 220 V (c.c.)	3 n.d 3 n.i.	4 W	—	0,3	idem
RH 51	RDG	24, 110, 220 V (c.c.) 110, 220, 380 V (c.a.)	2 n.d. 2 n.i.	1,6 W 8 VA	10	0,2	idem
RH 91	RDG	110, 220, 380 V (c.a.)	3 n.d. 3 n. i.	11 VA	10	0,2	idem
RH 100	RDG	24, 110, 220 V (c.c.)	3 n.d. 3 n.i.	2,6 W	10	0,2	idem
RA 1	RDG	24, 110, 220 V (c.c.) 110, 220, 380 V (c.a.)	1 n.d. 1 n.i.	4,5 W 9,5 VA	10	0,2	Releu de semnalizare cu două poziţii
RA 2	RDG	idem	2 n.d. 2 n.i.	idem	10	0,2	idem
RA 3	RDG	idem	idem	idem	10	0,2	idem cu 3 poziţii
A 2	BBC	24, 48, 110, 220 V (c.c.) 48, 110, 220, V (c.a.)	1 n.d.	5 W 38 VA	30	0,25	idem cu 3 poziţii
P 8	BBC	idem	8 n.d. sau 8 n.i.	6 W 30 VA	25	1	Releu intermediar
P 16	BBC	idem	16 n.d. sau 16 n.i.	idem	25	1	idem

B. Aparate de protecţie contra supratensiunilor

a) Generalităţi

24. **Rolul aparatelor de protecţie contra supratensiunilor.** Instalaţiile şi reţelele de înaltă şi joasă tensiune sînt supuse în exploatare la supratensiuni (v. vol. IV) de natură internă, provenind din manevre şi modificări voite sau accidentale care au loc în însăşi instalaţiile şi reţelele respective, sau de natură externă, datorite în majoritate descărcărilor atmosferice (v. vol. I, p. 447). Supratensiunile periclitează liniile şi instalaţiile electrice atît prin amplitudinea lor care întrece cu mult tensiunea normală de serviciu, cît şi prin căderea lor spaţială de tensiune, care se manifestă în lungul conductoarelor. Majoritatea supratensiunilor au caracterul unor unde de impuls, la care variaţiile parametrilor principali se produc atît de rapid (în timp de microsecunde) încît fenomenele de propagare reflexie şi refracţie a undelor au un rol foarte important. Rezistenţa izolaţiei la solicitări prin supratensiuni de impuls este în majoritatea cazurilor mult superioară celei faţă de solicitări prin supratensiuni de lungă durată. Totuşi statisticile de întreruperi în exploatare şi avarii arată că aproximativ 70 % din toate întreruperile de alimentare se datoresc supratensiunilor atmosferice. Deoarece aceste întreruperi şi avarii provoacă de multe ori accidente şi în orice caz mari pagube nu numai sistemelor energetice, ci mai ales industriilor productive, combaterea şi limitarea efectelor supratensiunilor are o foarte mare importanţă pentru o bună exploatare.

Principalele mijloace de protecţie a liniilor şi instalaţiilor electrice contra efectelor dăunătoare ale supratensiunilor sînt în general:

— construirea de aparate de întrerupere care, în funcţionare, să nu producă supratensiuni;

— dimensionarea izolaţiei astfel încît să suporte solicitările date de supratensiunile interne;

— coordonarea izolaţiei astfel încît supratensiunile de origine atmosferică, ce vin de pe linie în instalaţie, să nu producă amorsări la pămînt decît în anumite puncte dinainte stabilite, unde pagubele produse instalaţiei şi continuităţii serviciului să fie minime;

— folosirea de ecrane (conductoare de protecţie etc.) care să împiedice producerea unor lovituri directe de trăsnet asupra instalaţiei;

— folosirea de aparate de protecţie, cu rolul de a limita amplitudinea şi panta supratensiunilor, la valori nepericuloase pentru izolaţia instalaţiei. (Dintre aceste mijloace de protecţie în prezentul subcapitol se studiază numai aparatele de protecţie împotriva supratensiunilor).

25. **Fenomene fundamentale la supratensiuni.** Undele electromagnetice se propagă cu viteze apropiate de cea a luminii pe conductorii liniilor se şi aparatelor. Ele se pot reflecta, cu schimbarea polarităţii, în puncte în care parametrii electrici ai circuitului se modifică brusc (derivaţii, joncţiuni, capete libere). Din teorie şi cercetări oscilografice rezultă că la un capăt liber a unui circuit (de exemplu neutrul transformatoarelor) undele electromagnetice sînt reflectate, tensiunea undei retrograde sărind brusc la o valoare aproape de două ori mai mare decît a undei incidente. În schimb, în cazul unui scurtcircuit (punere francă la pămînt) tensiunea undei se anulează şi o undă de tensiune retrogradă de polaritate opusă celei incidente, parcurge circuitul, curentul acesteia fiind aproape de două ori mai mare, ca acel a undei incidente. Reflexii la capete deschise supun circuitul din nou solicitării undei iniţiale. Deaceea şi punerea la pămînt a liniei în momentul sosirii undei poate provoca defecte de izolaţie în instalaţie. Punerea

la pămînt cu rezistenţă nulă a liniei nu poate absorbi din energia undei în punctul respectiv şi deaceea unda poate provoca defecte în alte părţi ale instalaţiei. În realitate însă scăderea tensiunii şi mărirea curentului este avantajoasă deoarece pierderile active în conductoarele circuitului cresc cu patratul curentului şi o parte din energia undei se disipă astfel încălzind conductoarele. Unda incidentă are în mod normal o tensiune şi un curent care corespund unei împărţiri în două părţi egale a energiei totale a undei: una înmagazinată în cîmpul electric şi cealaltă în cel magnetic. La capete libere ale circuitului tensiunea se dublează în unda reflectată şi curentul dispare, cu alte cuvinte energia magnetică se transformă în energie electrostatică, energia totală a undei rămînînd practic aceeaşi. La capete scurtcircuitate invers, energia cîmpului electric este transformată în energie magnetică. Această transformare este însă favorabilă, deoarece energia electrostatică periclitează izolaţia prin supratensiunea pe care o comportă, în timp ce energia magnetică se amortizează mai repede şi nu solicită izolaţia ci doar conductoarele, în măsură mult mai mică, la încălzire şi eforturi electrodinamice.

Dacă linia se închide la pămînt printr-o rezistenţă egală cu impedanţa de undă, nu apare nici o reflexie, şi energia undei se consumă în rezistenţă prin efect Joule-Lenz.

Un aparat de protecţie eficace trebuie să reducă tensiunea undei de impuls şi să absoarbă o mare parte din energia ei spre a evita reflexii. Dacă aparatul are o impedanţă mică, reduce mult tensiunea undei, dar o scădere prea bruscă a tensiunii poate produce defecte în înfăşurări. În consecinţă, aparatelor de protecţie li se dă o oarecare rezistenţă spre a evita aceste urmări.

26. Evoluţia. În afară de siguranţele fuzibile care au reprezentat primele dispozitive de protecţie atît contra suprasarcinilor cît şi indirect contra supratensiunilor, primele aparate de protecţie se pot considera eclatoarele simple sau cu coarne, introduse mai ales în linii şi staţii aeriene, cu scopul de a stabili o legătură temporară cu pămîntul a conductoarelor sub tensiune şi apoi a stinge arcul prin lungirea lui. Dezavantajele acestor eclatoare fiind reglarea dificilă mai ales la tensiuni medii şi joase, cît şi întîrzierea considerabilă la amorsare, s-au propus eclatoare sferice uşor reglabile, fără întîrziere, dar care trebuiau introduse în interior spre a evita scurtcircuitarea lor accidentală prin precipitaţii, păsări etc. Pentru stingerea arcului, care, după amortizarea supratensiunii, continuă să fie alimentat de tensiunea reţelii, trebuia să se prevadă mijloace suplimentare de stingere, cum sînt: introducerea de rezistenţe în circuit, suflaj magnetic etc. Astfel aceste aparate au devenit voluminoase, complicate şi în consecinţă scumpe. Pe de altă parte funcţionarea lor nu putea să fie suficient de sigură faţă de gama largă a fenomenelor de supratensiune, iar urmările unei defecţiuni în funcţionare se repercutau chiar asupra instalaţiei şi a continuităţii de alimentare.

S-a încercat a se reduce amplitudinea supratensiunilor care pătrund în staţii prin intercalarea pe linii a diferitelor dispozitive, ca reactanţe legate în serie, capacităţi în paralel şi combinaţii de eclatoare, rezistenţe şi alte astfel de elemente. Dintre acestea, capacităţile legate în paralel se menţin încă, mai ales sub forma de cabluri de intrare.

Bobinele de reactanţă, instalate în serie cu linia, la intrări în staţii, nu au dat satisfacţie, dovedindu-se că mai degrabă majorează supratensiunile.

Cercetările pentru găsirea unor aparate de protecţie eficace au arătat rolul important pe care-l au fenomenele de foarte scurtă durată, cu caracterul undelor (v. vol. I, p. 270) în conturnarea şi străpungerea izolaţiei. S-a constatat astfel că eclatorul simplu, în cîmp neomogen, nu corespunde din punctul de vedere al amorsării la impuls deoarece prezintă o mare întîrziere şi împrăştiere la amorsare.

De asemenea rezistenţele fixe, montate în serie cu eclatoarele nu corespundeau, ele neputînd satisface cele două condiţii antagoniste impuse descărcătoarelor:

— rezistenţă mică în timpul trecerii curentului de impuls, pentru ca tensiunea reziduală să fie suficient de coborîtă;

— rezistenţă mare imediat după aceasta, în timpul trecerii curentului de însoţire, pentru a-l reduce la o valoare pe care să o poată stinge eclatorul.

Aceste constatări au dat o nouă direcţie cercetărilor şi soluţiilor tehnice. Aparatele moderne de protecţie au menţinut eclatorul, pe cît se poate de formă sferică, ca element de izolare faţă de tensiunea de serviciu şi supratensiunile interne, dar în serie cu el s-au dispus rezistenţe variabile care îşi măresc conductibilitatea în funcţie de tensiunea aplicată (variatoare) şi stabilesc pe de o parte o cale de rezistenţă redusă cu pămîntul, pe de altă parte uşurează întreruperea curentului « de însoţire » provocat de tensiunea de regim.

Primele aparate de acest fel aveau o capacitate de scurgere relativ redusă (750–1 500 A). Ulterior, prin îmbunătăţirea calităţii discurilor de rezistenţă variabilă capacitatea de scurgere a fost mărită la 4 000–10 000 A şi chiar mai mult. Cercetările actuale asupra intensităţii curenţilor de trăsnet arată însă că nu sînt decît excepţional necesare puteri de scurgere mai mari ca 10 000 A (undă 1/50).

Pentru stingerea arcului la bornele eclatorului şi întreruperea curentului de însoţire se întrebuinţează în afară de divizarea arcului într-un număr mare de « arcuri scurte », şi alte metode, ca autodegajarea de gaze din materiale fibroase sintetice, suflajul magnetic etc.

Prin folosirea aparatelor moderne de protecţie gradul de protecţie a instalaţiilor a putut fi crescut în mod considerabil.

27. Clasificare. Conform STAS 3999-53 aparatele de protecţie contra supratensiunilor se clasifică astfel:

după felul curentului:
- de curent continuu;
- de curent alternativ;

după modul de influenţare a supratensiunii:
- reducînd amplitudinea supratensiunii;
- reducînd panta undei de supratensiune;
- reducînd amplitudinea şi panta supratensiunii;

după natura aparatului:
- eclatoare;
- descărcătoare cu rezistenţă fixă;
- descărcătoare cu rezistenţă variabilă;
- condensatoare;
- dispozitive speciale (filtre etc.).

Se observă că în STAS 3999-53 nu se tratează bobinele de reactanţă în serie cu linia, deoarece acestea nu s-au dovedit corespunzătoare şi nu se mai folosesc.

După instalaţia protejată se mai pot clasifica în aparate:
- pentru protecţia staţiilor;
- pentru protecţia liniilor;
- pentru protecţia reţelelor de distribuţie;

după mijlocul de stingere a arcului:
- fără dispozitive speciale de stingere;
- cu suflaj magnetic;
- cu autodegajare de gaze;
- cu rezistenţă în serie;

după tratarea neutrului reţelelor trifazate:

pentru reţele cu neutrul izolat sau legat la pămînt, prin bobine de reactanţă (Petersen);

— pentru reţele cu neutrul pus direct la pămînt.

28. **Definiţii.** (după STAS 3999-53). *Supratensiunea* este orice tensiune care, depăşind valoarea maximă admisibilă a tensiunii de serviciu, periclitează siguranţa sau buna funcţionare a instalaţiei.

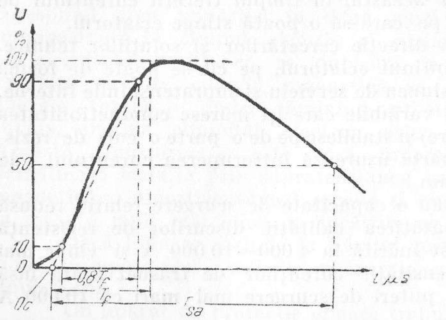


Fig. 58. — Forma generală şi parametrii undelor de impuls:
T_f — durata frunţii; T_{sa} — durata de semiamplitudine.

Aparate de protecţie contra supratensiunilor sînt dispozitive destinate a împiedica creşterea tensiunii peste valori la care izolaţia instalaţiei ar putea fi solicitată mai mult decît poate suporta. Tensiunile de conturnare şi de străpungere a izolaţiei nu depind numai de amplitudinea, ci şi de desfăşurarea în timp a supratensiunilor.

Aparatele de protecţie contra supratensiunilor au rolul să reducă amplitudinea şi panta undelor de supratensiune la valori nepericuloase pentru instalaţia protejată.

Aparatele normale de protecţie contra supratensiunilor sînt prevăzute să combată mai ales supratensiunile de impuls (unde de impuls ale tensiunii). Aceste unde au desfăşurarea în timp arătată în fig. 58. Cele mai periculoase supratensiuni de acest fel se datoresc loviturilor directe de trăznet.

Tensiunea nominală a aparatelor de protecţie contra supratensiunilor este valoarea eficace a tensiunii de serviciu (la curent trifazat, a tensiunii între faze) pentru care aparatul de protecţie a fost proiectat şi construit. Aparatele trebuie să funcţioneze corect şi la o tensiune de serviciu în locul de montare cu 15 % mai mare decît aceasta.

Frecvenţa nominală este frecvenţa pentru care au fost proiectate şi construite aparatele de protecţie contra supratensiunilor; ele trebuie să funcţioneze corect şi la o abatere de la această valoare cu ± 20 %.

Tensiunile definite în cele ce urmează se înţeleg la bornele descărcătorului, incluzînd eventuale intervale disruptive exterioare.

Tensiunea de amorsare la frecvenţă industrială este cea mai mică valoare eficace a tensiunii alternative de frecvenţă industrială, la care prin eclatorul descărcătorului începe să treacă un curent de descărcare. În lipsa altor specificaţii, tensiunea se presupune practic sinusoidală.

Tensiunea de amorsare la impuls este tensiunea de impuls, de anumită formă, la care prin eclatorul descărcătorului începe să treacă un curent de descărcare (fig. 59).

Factor de impuls este raportul dintre tensiunea de amorsare la impuls şi amplitudinea tensiunii de amorsare la frecvenţă industrială.

Întîrzierea de amorsare este timpul între momentul atingerii amplitudinii tensiunii de amorsare la frecvenţă industrială şi momentul atingerii tensiunii de amorsare la impuls.

Întîrzierea de protecţie este timpul între momentul atingerii amplitudinii tensiunii de amorsare la frecvenţă industrială şi apariţia completă a efectului protector.

Vîrf de amorsare este valoarea maximă a tensiunii în cursul întîrzierii de protecţie.

Tensiune reziduală este tensiunea care apare la bornele aparatului după întîrzierea de protecţie. Ea se exprimă prin valoarea sa maximă, dacă nu se specifică altfel.

Tensiune reziduală nominală este acea tensiune reziduală care apare la bornele descărcătorului cînd prin acesta se scurge un curent de impuls corespunzător capacităţii nominale de scurgere.

Curent de scurgere este curentul de impuls care trece prin aparat după amorsarea prin efectul unei supratensiuni de impuls. El se exprimă prin valoarea sa maximă dacă nu se specifică altfel.

Capacitatea de scurgere este capacitatea aparatului de a scurge într-un interval scurt de timp o anumită sarcină electrică mare, exprimată prin integrala $\int idt$, care se extinde asupra duratei întregi a undei de impuls.

Capacitatea de scurgere nominală este acea capacitate de scurgere pentru care a fost proiectat şi construit aparatul. Se exprimă prin amplitudinea curentului de impuls de o anumită formă, care se poate scurge prin aparat, fără a-i schimba în mod sensibil proprietăţile şi fără ca tensiunea reziduală să depăşească anumite valori.

Curentul de însoţire este curentul care trece prin aparat după curentul de scurgere sub influenţa tensiunii reţelei.

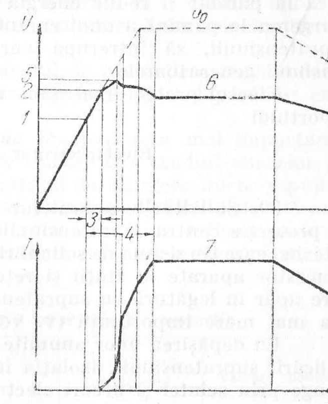


Fig. 59. — Reprezentarea schematică a parametrilor descărcătoarelor:
1 — tensiunea de amorsare la frecvenţă industrială; 2 — tensiune de amorsare la impuls; 3 — întîrziere la amorsare; 4 — întîrziere la funcţionare; 5 — tensiunea maximă de amorsare; 6 — tensiunea reziduală; 7 — curent de scurgere.

Observaţie. Noţiunile de tensiune de amorsare şi întîrziere de amorsare nu au sens pentru aparate de protecţie care nu sînt prevăzute cu eclatoare.

Eclator este un aparat de protecţie avînd un interval disruptiv între doi electrozi şi care amorsează o scînteie sau un arc la aplicarea unei tensiuni de o anumită valoare periculoasă pentru instalaţie; ei limitează valoarea supratensiunii ce poate să existe în instalaţie fără ca pentru stingerea arcului să se întrebuinţeze un alt mijloc, decît alungirea naturală a arcului datorită propriului său cîmp magnetic.

Descărcător este un aparat de protecţie care se amorsează la depăşirea unei anumite valori a tensiunii, aplicate la bornele sale, şi care este prevăzut cu dispozitive speciale pentru stingerea arcului sau anularea curentului, imediat ce tensiunea la borne a revenit la valori nepericuloase pentru funcţionarea instalaţiei.

Descărcătoarele cu rezistenţă constantă au o tensiune reziduală care creşte liniar cu intensitatea curentului de scurgere.

Descărcătoarele cu rezistenţă variabilă au o tensiune reziduală care creşte mai puţin decît proporţional cu intensitatea curentului de scurgere.

Condensatoarele reduc mai ales panta undei de supratensiune prin modificarea impedanţei de undă a liniei.

Cablurile de introducere în staţii, avînd o lungime mai mare de 30 m au, datorită capacităţii lor, un efect de protecţie similar cu condensatoarele.

Dispozitivele speciale de protecţie se pot compune din diferite elemente (rezistenţe, reactoare, condensatoare, eclatoare, descărcătoare), şi au ca scop reducerea

concomitentă a amplitudinii şi pantei supratensiunilor de impuls, cît şi stingerea curentului de însoţire.

29. **Principiul de funcţionare al aparatelor.** Aparatele moderne de protecţie contra supratensiunilor se montează între fiecare conductor activ şi pămînt. Ele prezintă în regim normal o rezistenţă foarte mare faţă de pămînt, dar în caz de supratensiune stabilesc cît mai neîntîrziat o legătură de rezistenţă mult mai mică la pămînt şi reduc energia cîmpului electric şi deci tensiunea undei prin scurgerea la pămînt a unui curent corespunzător. Aparatul trebuie, după trecerea supratensiunii, să întrerupă curentul de însoţire care trece prin el datorită tensiunii generatoarelor.

Efectul protector al unui aparat de protecţie se poate aprecia cu ajutorul raportului

$$\text{Efect protector} = \frac{\text{Amplitudinea tensiunii de fază}}{\text{Amplitudinea tensiunii reziduale}}$$

30. **Solicitările aparatelor de protecţie.** Proiectarea şi construcţia aparatelor de protecţie contra supratensiunilor se face pe baza unor condiţii tehnice şi norme interne, care ţin seama de solicitările care pot să apară în cursul funcţionării continue a acestor aparate în staţii şi reţele. În acest sens cunoaşterea fenomenelor fizice care apar în legătură cu supratensiunile în reţele, staţii, maşini şi aparate, este de cea mai mare importanţă (v. vol. IV, cap. Supratensiuni).

La depăşirea unor anumite valori limită ale tensiunii şi în funcţie de durata aplicării supratensiunii, izolaţia instalaţiilor electrice se conturnează sau se străpunge prin scîntei şi arcuri electrice care pot provoca scurtcircuite între conductoare active, puneri la pămînt etc. La durate de aplicare a tensiunii de ordinul microsecundelor, izolaţia suportă fără conturnări şi străpungeri tensiuni mult mai mari decît cele de frecvenţă industrială sau de curent continuu, din cauza întîrzierii la amorsare. Raportul tensiunilor de conturnare sau străpungere la impuls faţă de tensiunea de frecvenţă industrială este tocmai factorul de impuls definit mai sus (§ 28).

Dar supratensiunile solicită izolaţia nu numai prin amplitudinea supratensiunii, ci şi prin panta frunţii undelor de impuls. La propagarea undelor de supratensiune cu pantă mare de-a lungul liniilor şi în staţii, dar mai ales în înfăşurări de transformatoare, maşini, reactoare, etc., între două puncte apropiate ale unui conductor pot să apară tensiuni mult mai mari, decît se prevăd în general la funcţionarea normală sub tensiunea de serviciu. O undă de impuls ajungînd la bornele unei înfăşurări (inductanţe), în primul moment repartiţia potenţialelor se face neuniform, primele spire fiind în mod deosebit solicitate. Din această cauză primele spire ale acestor înfăşurări se prevăd cu o izolaţie întărită. Aparatele de protecţie se dispun tocmai spre a evita străpungerea izolaţiei în astfel de înfăşurări. Aceste aparate trebuie să aibă în acest scop o cît mai mică întîrziere în funcţionarea lor pentru ca efectul de protecţie să se manifeste înainte ca unda incidentă să solicite izolaţia aparatelor şi maşinilor care sînt de protejat.

Pe scurt, amplitudinea supratensiunilor solicită izolaţia exterioară faţă de pămînt a instalaţiilor, pe cînd panta undelor, izolaţia interioară (între spire) a înfăşurărilor.

Solicitările aparatelor de protecţie sînt în funcţie de frecvenţa descărcărilor, amplitudinea şi panta supratensiunii, forma şi amplitudinea curentului de scurgere, locul instalării (în reţele de distribuţie, în staţii), curentul de scurtcircuit al reţelei în punctul respectiv, rezistenţa prizei la pămînt, felul de protecţie a liniilor, tratarea neutrului reţelei respective etc.

Frecvenţa descărcărilor se apreciază pe baza observaţiilor obiective în exploatare. Aparatele de protecţie se prevăd cu contoare care înregistrează numărul de descărcări care trec prin aparat. Statistica observaţiilor indică pentru regiuni cu un indice keraunic[1]) de 30 în medie 1,0 descărcări pe an la aparatele montate în reţelele de distribuţie (în posturi de transformare).

Amplitudinea şi forma undei de tensiune care se aplică unui aparat de protecţie depinde de raportul impedanţelor de undă a liniei, a aparatului şi a staţiei sau postului protejat, cît şi de caracteristica de protecţie a aparatului însăşi. După amorsarea aparatului, tensiunea la bornele lui este limitată la o valoare aproape constantă care variază puţin cu valoarea curentului de scurgere. Aparatele de diferite tipuri se comportă diferit în această privinţă.

Panta undei de tensiune care trece prin aparatul de protecţie este în general mai redusă decît cea a undei de supratensiune incidente. Raportul pantelor este în general de 1/5–1/10.

Amplitudinea şi forma undei curentului de scurgere este mai importantă decît cea a tensiunii, care se menţine în anumite limite. Din studiul curbelor de curent oscilografiate rezultă că forma undei curentului de scurgere nu corespunde cu forma undelor de curent care circulă pe linii sau a însăşi curentului de trăsnet.

Rapoartele medii şi valorile absolute ale parametrilor care definesc unda de curent prin aparat faţă de cele ale trăsnetului sînt date după ultimele statistici în tabela 12.

Tabela 12. Parametrii undelor de curent prin aparatele de protecţie

Parametru	Raport faţă de trăsnet	Valoare medie
Amplitudine de curent	1:10	20 kA
Panta maximă a frunţii	1:10	5 kA/μs
Durata frunţii	1:1	1,5–2,5 μs
Durata de semiamplitudine:		10–75 μs
— pentru aparate în staţii	1:1	26 μs
— pentru aparate în reţele	1:0,8	40 μs
Durata totală a descărcării:		40–10 000 μs
— pentru aparate în staţii	1:0,8	80 μs
— pentru aparate în reţele	1:1–2	200 μs
Numărul de descărcări succesive	1:1	3

Aceste date sînt de cea mai mare importanţă pentru proiectarea şi încercarea aparatelor de protecţie.

Avînd în vedere frecvenţa foarte redusă a curenţilor de trăsnet care întrec 100 kA, aparatele se prevăd în mod excepţional pentru o capacitate nominală de scurgere de 10 kA şi în mod curent pentru o capacitate nominală de scurgere de 5 kA. Aparatele de construcţie mai veche au o capacitate nominală de scurgere inferioară acestei valori şi din această cauză se pot distruge mult mai uşor prin efectul trăsnetului.

Locul instalării poate influenţa solicitarea aparatelor de protecţie. Observaţii statistice au pus în evidenţă faptul că aparatele montate pe linii sînt solicitate prin curenţi mai mari, decît cele din staţii şi posturi de transformare. Cu toate acestea staţiile avînd de protejat aparate şi maşini de mare valoare, coeficientul de siguranţă a protecţiei se alege mai mare, decît acel al liniilor sau a posturilor de transformare. În consecinţă aparatele pentru protecţia staţiilor sînt încercate în condiţii mai severe decît cele pentru linii.

[1]) Indicele keraunic reprezintă numărul de zile cu furtună pe an, observate într-o localitate.

Curentul de scurtcircuit al reţelei în punctul de instalare al descărcătorului, este un parametru care influenţează în mod hotărîtor curentul de însoţire care trece prin aparatele de protecţie. În cazul cînd se amorsează o singură fază a unei reţele cu neutrul izolat, nu apare un curent de scurtcircuit, ci numai curentul de punere la pămînt a reţelei respective. În toate celelalte cazuri funcţionarea aparatelor de protecţie atrage după sine un scurtcircuit, iar curenţii foarte mari care circulă prin aparate trebuie să fie reduşi şi întrerupţi de acestea.

Reducerea curentului se face de obicei prin intercalarea sau mărirea valorii unor rezistenţe în circuit, iar întreruperea prin suflare pneumatică, magnetică sau în general prin metodele şi mijloacele de întrerupere a arcurilor electrice, cunoscute de la întreruptoarele de putere (v. cap. Aparate de conectare).

Rezistenţa prizei de pămînt este de cea mai mare importanţă pentru buna funcţionare a aparatelor de protecţie. În timpul trecerii curentului de impuls, valoarea tensiunii de impuls care rămîne în instalaţie este dată de însumarea tensiunii reziduale la bornele descărcătorului cu căderile de tensiune în conductoarele de legătură—linie, descărcător, pămînt—şi căderea de tensiune în priza de pămînt, ultima putînd lua valori foarte mari. De aceea se prescriu valori limită ale acestei rezistenţe pentru diferite locuri de instalare şi diferite tipuri de aparate de protecţie.

Tensiunea care rămîne în instalaţie este în fond proporţională cu suma rezistenţei aparatului şi a prizei de pămînt şi cu valoarea curentului de scurgere. Orice scădere a rezistenţei prizei sau a aparatului înseamnă o scădere a tensiunii reziduale şi deci o îmbunătăţire a efectului protector. Rezistenţa prizelor fiind prescrisă prin norme, rămîne de a menţine rezistenţa aparatelor în timpul scurgerii undelor de impuls la o valoare cît mai joasă. În acest caz pentru o tensiune de impuls dată, curentul de scurgere şi deci solicitarea aparatului creşte proporţional cu scăderea rezistenţei în circuitul aparatului. Rezistenţe ohmice normale nu pot îndeplini condiţiile antagoniste, de a prezenta o rezistenţă cît mai mică curentului de scurgere şi cît mai mare curentului de însoţire. Din această cauză în aparatele de protecţie se utilizează rezistenţe variabile cu curentul care îşi scad în mod automat rezistenţa la creşterea curentului. Rezistenţa de acest gen se fabrică pe bază de carbură de siliciu.

31. **Condiţii impuse.** După cum s-a arătat, scopul aparatelor de protecţie contra supratensiunilor este pe de o parte de a limita supratensiunile de origină externă la o valoare care să nu întreacă nivelul de izolaţie la impuls a instalaţiei de protejat, pe de altă parte de a întrerupe curentul de însoţire care se menţine datorită tensiunii de serviciu după orice amorsare. Tensiunea de amorsare a aparatelor de protecţie ar trebui să întreacă limita superioară a supratensiunilor de origină internă, deoarece acestea ar putea să distrugă aparatul prin efect termic, dată fiind durata lor mult mai mare, decît a undelor de impuls. Tensiunea reziduală trebuie să fie inferioară nu numai tensiunii de conturnare a izolaţiei exterioare protejate, dar şi tensiunii de amorsare a eclatoarelor de protecţie a aparatelor şi transformatoarelor, deoarece amorsarea acestora, în lipsa mijloacelor de stingere a arcului, ar provoca scoaterea de sub tensiune a instalaţiei prin protecţia selectivă. În general, izolaţia nu este periclitată prin unde de impuls avînd o tensiune de 2,5 ori amplitudinea tensiunii nominale a aparatelor. Deci dacă avem o tensiune reziduală mai mică decît 2,5 U_{mn} protecţia este considerată practic suficientă.

Pentru a asigura o amorsare la impuls cu o întîrziere cît mai mică şi a proteja astfel mai eficace instalaţiile, aparatele de protecţie trebuie să aibă un factor de impuls cît mai aproape de unitate, dacă se poate chiar mai mic decît unitatea.

Aparatele trebuie să aibă o capacitate de scurgere cît mai mare. Valoarea minimă cerută se verifică trecînd prin aparat un anumit număr de impulsuri de curent de formă normalizată (cel mai adesea unde 10/20 μs) şi amplitudine corespunzînd

capacităţii nominale de scurgere. În cursul acestei încercări tensiunea reziduală trebuie să nu depăşească valorile prescrise.

Se cere o cît mai mare stabilitate a caracteristicilor faţă de durata de funcţionare, starea atmosferică, impurităţi, numărul şi intensitatea descărcărilor conduse la pămînt, poziţia faţă de obiectele puse la pămînt etc.

Construcţia aparatelor trebuie să fie cît mai simplă, montarea şi întreţinerea lor cît mai uşoară iar preţul cît mai redus. Realizarea acestor condiţii contribuie la introducerea pe o scară largă a aparatelor de protecţie şi astfel la reducerea deranjamentelor şi avariilor în reţelele electrice.

b) Eclatoare

32. **Principii.** Intrebuinţarea eclatoarelor pentru limitarea supratensiunilor provine din observaţia că tensiunea aplicată între electrozi se surpă prin amorsarea unei scîntei în momentul în care tensiunea depăşeşte o anumită valoare. Aceasta stabileşte temporar o legătură de o rezistenţă foarte redusă între electrozi. Legind eclatoarele între un conductor activ şi pămînt, la depăşirea tensiunii de amorsare apare o scînteie între electrozi şi tensiunea conductorului faţă de pămînt se reduce la o valoare scăzută care rezultă din curentul de scurgere şi rezistenţa circuitului conductor-pămînt.

Acest dispozitiv simplu are trei dezavantaje esenţiale:

— Amorsarea se face cu o întîrziere de ordinul microsecundelor, foarte mică în valoare absolută, dar apreciabilă în raport cu durata undelor de supratensiune, astfel încît o undă de impuls poate să pătrundă în instalaţie înainte de a se produce amorsarea eclatorului, periclitînd astfel izolaţia instalaţiei.

— În cazul amorsării simultane pe două sau trei faze, apare un scurtcircuit prin pămînt a acelor faze, care poate periclita instalaţia şi în orice caz trebuie lămurit de protecţia selectivă, deoarece eclatoarele, nefiind prevăzute cu dispozitive de stingere a arcului electric, nu pot întrerupe curentul de însoţire.

Ultimele două dezavantaje fiind observate de la începutul evoluţiei eclatoarelor, s-au propus diferite măsuri pentru evitarea lor. Astfel spre a reduce curenţii de scurtcircuit între faze s-au intercalat rezistenţe în serie cu eclatoarele pe fiecare fază, rolul acestor rezistenţe fiind de a reduce curentul de însoţire la valori atît de mici încît arcul format între electrozi să se stingă de la sine.

Spre a stinge mai uşor arcul, eclatoarelor li s-a dat forma de coarne divergente. Arcul se amorsează la baza coarnelor, unde distanţa dintre electrozi este minimă şi, datorită efectului termic şi cîmpului magnetic propriu, se ridică pe coarnele divergente în sus lărgind bucla şi astfel mărind lungimea arcului pînă cînd tensiunea reţelei nu mai este suficientă spre a-l menţine.

În schimb, întîrzierea la amorsare nu a fost observată decît mult mai tîrziu şi nu s-a studiat în detaliu decît după descoperirea şi introducerea în cercetările undelor de impuls a oscilografului catodic de către Rogowski (1921). Abia aceste cercetări au permis să se evidenţieze insuficienţa eclatoarelor obişnuite şi a dispozitivelor mai complicate comportînd eclatoare, faţă de fenomenele de supratensiune de foarte scurtă durată. Evoluţia este încă în curs, deoarece mai ales în domeniul eclatoarelor de protecţie s-au adus îmbunătăţiri radicale în ultimii ani în legătură cu reducerea împrăştierii la amorsare şi cu rolul acestor eclatoare în cadrul coordonării izolaţiei.

33. **Dimensionarea eclatoarelor.** Distanţa disruptivă se stabileşte în funcţie de tensiunea de amorsare la 50 Hz şi la impuls, şi este fixată prin normele de coordonare a izolaţiei.

Relaţia între tensiunea medie de amorsare la 50 Hz şi distanţa disruptivă a eclatoarelor vîrf-vîrf şi vîrf-placă este dată de curbele din fig. 60.

Pentru forma vîrf-vîrf şi distanţe mai mari de 10 cm se poate folosi formula:

$$a = \frac{U_{a\,50} - 10}{3{,}8} \tag{33.1}$$

unde

a este distanţa disruptivă, în cm;

$U_{a\,50\sim}$ tensiunea medie efectivă de amorsare, în kV.

La impuls relaţiile sînt mai complicate din cauza influenţei polarităţii şi a împrăştierii statistice. Se ştie din tehnica undelor de impuls că unda de polaritate pozitivă amorsează la tensiuni mai joase decît cea negativă, de aceea prima se ia în considerare la dimensionare. De asemeni spre a elimina influenţa formei undei în etalonarea electoarelor, se consideră o formă normalizată de undă, de exemplu cea valabilă în U.R.S.S. şi în S.U.A., unda 1,5/40 µs. (Fruntea de 1,5 µs, durata de semiamplitudine 40 µs). Este de observat că unda 1/50 µs normalizată în celelalte ţări din Europa, dă rezultate foarte apropiate de cea de mai sus.

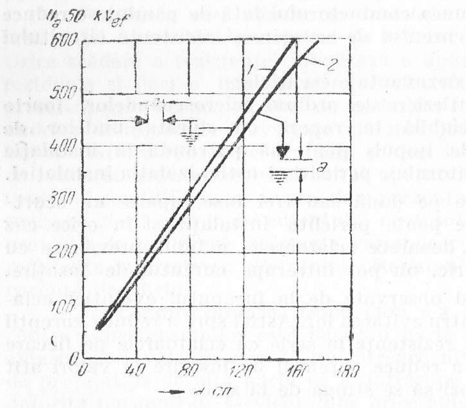


Fig. 60. — Tensiunea medie de amorsare la frecvenţă industrială a eclatoarelor de forma (1) vîrf-vîrf şi (2) vîrf-placă (la 760 mm Hg şi 25°C).

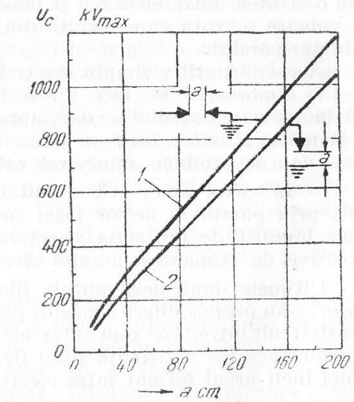


Fig. 61. — Tensiunea critică de 50 % amorsări a eclatoarelor la aplicarea undei normale pozitive 1,5/40 µs: 1 — electrozi vîrf-vîrf; 2 — electrozi vîrf-placă.

Dispersiunea statistică a amorsărilor se caracterizează prin: *valoarea critică* U_c a tensiunii de amorsare, adică acea tensiune la care 50 % din impulsurile aplicate dau loc la amorsări şi prin valorile extreme U_0 şi U_{100} de 0 şi 100 % amorsări. Dintre acestea din urmă prima se numeşte tensiunea de izolare, cea de a doua tensiunea de protecţie.

Valoarea critică de 50 % amorsări, este dată în funcţie de distanţa disruptivă în fig. 61 pentru unda pozitivă de 1,5/40 µs. Dispersiunea relativă în jurul acestor valori, adică raportul $100\,(U_{100} - U_0)/U_c$ în % este de:

± 26 % pentru eclatoare cu tije, simple
± 20 % pentru eclatoare cu tije, corectate (v. descărcătoare tubulare)
± 15 % pentru eclatoare semisferice corectate (v. descărcătoare cu rezistenţă variabilă)

Mijloacele pentru micşorarea dispersiunii sînt: apropierea formei eclatoarelor de cea sferică, sau uniformizarea cîmpului de impuls prin electrozi auxiliari (v. Descărcătoare).

Pentru forma vîrf-vîrf distanţa disruptivă se poate calcula cu o suficientă exactitate din relaţia simplă

$$a = \frac{U_c - 40}{6} \tag{33.2}$$

dedusă din fig. 61, unde U_c este tensiunea critică de amorsare la impuls la unda normală pozitivă de 1,5/40 µs, în kV.

Valorile tensiunilor de amorsare în formulele (33.1) şi (33.2) se stabilesc în funcţie de tensiunea nominală de către regulile de coordonare a izolaţiei.

34. **Eclatoare cu coarne** se prevăd în reţelele aeriene cu tensiuni între 3 şi 35 kV pentru protecţia contra supratensiunilor a unor posturi de transformare, separatoare de linie, derivaţii etc. Părţile componente sînt eclatoarele propriu zise, formate din doi electrozi de formă specială, rezistenţele de amortizare, legătura la pămînt şi priza de pămînt (fig. 62).

Electrozii se construiesc din oţel zincat (OL 32) sau cupru electrolitic (Cu E) cu diametrul de 8—16 mm. Unul dintre electrozi este amovibil pentru a se putea

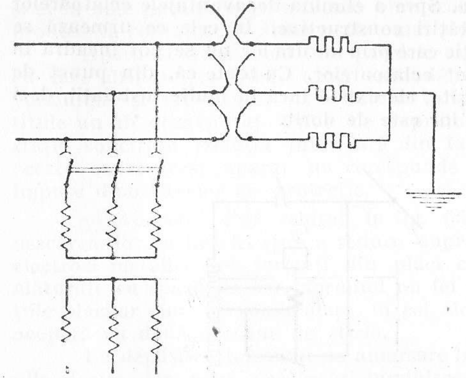


Fig. 62. — Schema unor eclatoare cu coarne.

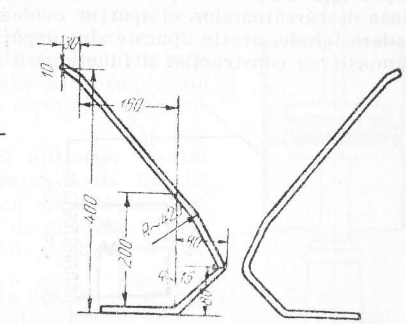


Fig. 63. — Eclator cu coarne (formă recomandabilă).

regla tensiunea de amorsare. Este preferabil ca reglarea să se facă în fabrică. Tensiunea de amorsare la 50 Hz, $U_{a\,50}$, se alege conform formulei aproximative:

$$U_{a\,50} = 1{,}5 \ldots 2\,U \tag{34.1}$$

sau mai corect, ţinînd seama de coordonarea izolaţiei.

Forma dată coarnelor are o mare importanţă pentru o funcţionare îndelungată fără revizie. O formă potrivită provenită din sursă sovietică s-a reprezentat în fig. 63.

Curentul maxim pe care-l pot stinge sigur eclatoarele cu coarne este limitat de spaţiul disponibil deasupra coarnelor şi de însăşi lungimea lor. Pentru eclatoarele de exterior montate în capul stîlpului există spaţiu suficient; curentul admisibil

este practic limitat de pericolul de scurtcircuit între faze şi de efectul termic a piciorului de arc, la valorile:

$I_a = 12$ A pentru tensiuni pînă la 10 kV şi

$I_a = 4$ A pentru tensiuni peste 15 kV. Rezistenţele de amortizare se dimensionează în consecinţă ţinînd seama de relaţia

$$R = \frac{U_f}{I_a} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I_a} . \tag{34.2}$$

Practic rezultă rezistenţe de 200—1 600 Ω.

Cu cît aceste valori sînt mai mari, efectul de protecţie faţă de unde de impuls este mai redus, din cauza tensiunii reziduale mai mari.

Rezistenţele trebuie să fie cît mai neinductive, deoarece impedanţa lor trebuie să fie de cel mult 0,5 . . . 2 ori impedanţa de undă a liniei spre a se produce o scădere eficace a undei de supratensiune. Adesea, dar în mod nejustificat, se renunţă la rezistenţele de amortizare, în care caz coarnele se pot uza datorită efectului termic al piciorului de arc. De asemeni se poate întîmpla ca arcul să nu fie stins şi continuitatea de alimentare a reţelei să fie întreruptă.

Pentru a preveni amorsarea intempestivă a eclatoarelor cu coarne din cauza păsărilor, a zăpezii şi a altor obiecte care scurtează sau scurtcircuitează spaţiul disruptiv, tehnica sovietică propune dublarea lor în serie.

35. **Aparate speciale cu eclatoare.** Spre a elimina dezavantajele eclatoarelor cu coarne s-au propus multe îmbunătăţiri constructive. În cele ce urmează se expun cîteva tipuri de aparate de protecţie care prin natura lor nu se pot încadra în clasa descărcătoarelor, ci aparţin evident eclatoarelor. Cu toate că, din punct de vedere tehnic, aceste aparate sînt depăşite, ele există încă în multe instalaţii, deci cunoaşterea construcţiei şi funcţionării lor este de dorit.

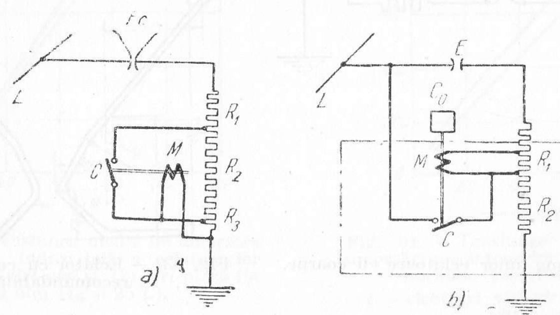


Fig. 64. — Aparate de protecţie speciale cu eclatoare:
a — eclator cu coarne, rezistenţă şi ruptor; *b* — aparat Bendman.

α) O soluţie pentru evitarea dezavantajelor eclatoarelor cu coarne încearcă dispozitivul din schema fig. 64 *a*. La străpungerea eclatorului cu coarne, curentului de scurgere i se opun numai rezistenţele R_1 şi R_3, deoarece contactul C a ruptorului fiind normal închis scurtcircuitează rezistenţa R_2. Electromagnetul M al ruptorului este însă excitat de căderea de tensiune în R_3 şi ridică scurtcircuitul prin C, deci curentul de însoţire este strangulat de întreaga rezistenţă $R_1 + R_2 + R_3$ şi poate să fie stins mai uşor de eclator.

β) *Aparatul Bendmann* este de interior şi are: eclatoare sferice în aer, reglabile cu şurub fin; o rezistenţă de amortizare scufundată într-o cuvă de ulei. Rezis-

tenţa se poate micşora în timpul funcţionării, datorită unui contactor. Schema electrică se vede din fig. 64 *b*.

La sosirea pe linia L a unei unde de supratensiune care întrece o anumită limită, eclatorul sferic E amorsează cu o întîrziere, deci şi dispersiune, foarte mică. La străpungerea eclatoarelor, o parte din energia undei se scurge la pămînt prin rezistenţa de amortizare $R_1 + R_2$. Curentul de scurgere provoacă, datorită căderii de tensiune în rezistenţa R_1, un curent care trece prin înfăşurarea M a contactorului care scurtcircuitează eclatorul şi partea mai mică R_1 a rezistenţei de amortizare, prin închiderea contactelor C. În consecinţă curentul de însoţire trece numai prin contactele C şi rezistenţa R_2. Înfăşurarea M rămîne neexcitată şi contactorul deschide contactele C întrerupînd după un scurt timp curentul de însoţire. Rezistenţa de amortizare poate să fie mai mică decît o dau formulele de mai sus. Un contor C_0 înregistrează numărul de funcţionări.

Aparatul elimină în mod evident unele dezavantaje ale eclatoarelor cu coarne, în schimb prezintă altele. Curentului de scurgere a undei i se prezintă o rezistenţă mai mare decît curentului de însoţire, cînd ar trebui să fie invers, spre a obţine o tensiune reziduală cît mai mică. Durata solicitării eclatorului depinde de constanta de timp a releului şi nu se poate reduce sub o anumită limită. Se pot produce perlări ale eclatorului şi o supraîncălzire a rezistenţei. Aceasta este montată în ulei tocmai pentru a i se mări capacitatea termică. Contactorul se află şi el în baia de ulei, spre a fi mai bine izolat şi răcit. Arcurile produse la contacte se sting astfel mai uşor.

Aparatul trifazat cu faze paralele are cuvă pătrată, cel cu faze dispuse în stea, cuvă rotundă; este în orice caz voluminos şi are nevoie de o celulă în staţie, ceea ce constituie un alt dezavantaj. Unde de supratensiune pot intra în staţie solicitînd izolaţia interioară din faţa aparatului, din aceste cauze acest aparat nu corespunde cerinţelor moderne impuse dipozitivelor de protecţie.

γ) *Aparatul PM* schiţat în fig. 65 utilizează efectul descărcărilor cu licăriri spre a reduce supratensiunile. Cei doi electrozi metalici sînt formaţi din plăci cu margini ascuţite, alăturate cu spaţii de aer, formînd un fel de pieptene. Direcţiile plăcilor sînt perpendiculare în cei doi electrozi care se acoperă cu două borcane de sticlă.

La depăşirea tensiunii de amorsare la licăriri, pe marginile electrozilor apar descărcări luminiscente, care, la supratensiuni mai mari evoluează în egrete care se propagă de-a lungul borcanelor de sticlă şi pot, pe o cale prelungită, să stabilească o legătură directă între electrozi. Descărcarea se stinge imediat ce tensiunea scade sub cea de amorsare. Dezavantajele sînt: întîrzierea la amorsare, capacitate de scurgere redusă, tensiune reziduală mare, deci eficacitate redusă.

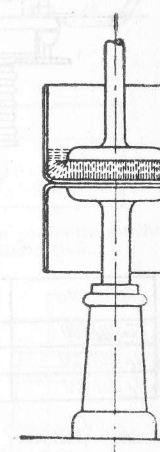


Fig. 65. — Aparat de protecţie PM cu licăriri.

δ) *Alte aparate.* S-au construit şi introdus în instalaţii şi alte tipuri de aparate bazate pe principii similare, fără a se putea elimina dezavantajele organice ale lor: tensiunea reziduală mare, solicitarea excesivă a eclatoarelor şi inerţia mare la amorsare, în comparaţie cu durata undelor.

36. **Eclatoare de protecţie** α) *Principii.* Eclatoarele de protecţie limitează tensiunea cea mai mare care se poate aplica unei linii sau instalaţii. Ele se montează în paralel pe izolatoare de linie sau de aparate, transformatoare etc.

Eclatoarele nu trebuie să amorseze înaintea descărcătoarelor montate direct la bornele aparatelor şi transformatoarelor, şi cu atît mai puţin înaintea descărcă-

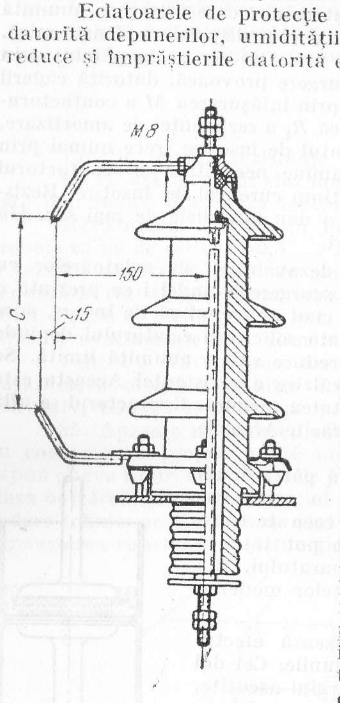
toarelor de linie. Tensiunea de amorsare trebuie să fie pe cît se poate independentă de condițiile atmosferice, de murdării și depuneri.

Eclatoarele de protecție pot înlătura împrăștierile în conturnarea izolației datorită depunerilor, umidității și variațiilor în lungimea izolatoarelor. Se pot reduce și împrăștierile datorită efectului de polaritate sau diferențelor în montare.

Eclatorul îndepărtează arcul de suprafața izolatorului și îl protejează contra efectelor de distrugere ale acestuia. Printr-o dispoziție specială a eclatoarelor se poate favoriza stingerea arcului de punere la pămînt și uniformiza repartizarea tensiunii pe suprafața izolatorului.

Dezavantajele eclatoarelor sînt: împrăștierea încă mare a tensiunii de amorsare și solicitarea izolației protejate prin unde de impuls « tăiate ». Nu este însă justificat a se renunța din aceste cauze la eclatoare de protecție, deoarece izolația obișnuită are o împrăștiere și mai mare la amorsare, iar orice arc poate periclita izolatorul și aparatul întreg. A monta pe transformatoare și aparate descărcătoare este pe de altă parte încă neeconomic, atît timp cît prețul acestor aparate păstrează valoarea actuală relativ ridicată.

Din punct de vedere al formei, eclatoarele de protecție pot să fie de tipul: sferă-sferă, sferă-placă, placă-placă, vîrf-placă, vîrf-vîrf. Primele trei forme au un cîmp omogen, deci prezintă întîrziere mică la amorsare; sînt însă mai ușor influențate de starea atmosferei, depuneri și vecinătatea cu corpuri străine, amorsînd intempestiv. De aceea, de obicei, se folosesc eclatoarele cu cîmp neomogen. Forma vîrf-placă se comportă diferit în funcție de polaritatea undei aplicate, amorsînd mai repede la tensiuni pozitive (vîrful la polaritatea pozitivă). Eclatoarele vîrf-vîrf au o comportare mai uniformă față de polaritatea undei și se folosesc aproape exclusiv (fig. 66).



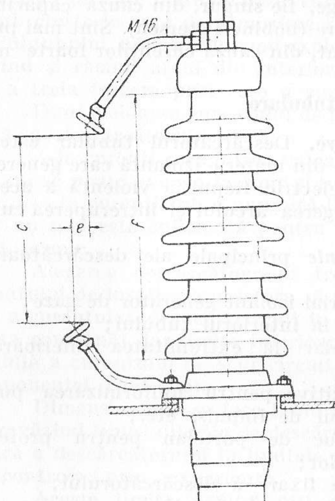
Tip izolator	U_n kV	C mm
T_e 10/200	10	110
T_e 20/200	20	170
T_e 30/600	30	235

Fig. 66. — Eclator de protecție vîrf-vîrf.

β) *Tipuri constructive.* Din punct de vedere constructiv eclatoarele de protecție cu tije se execută din bare rotunde, uneori (în SUA) pătrate, din OL-32. Tijele pot să fie tăiate drept, ascuțire la vîrfuri sub un unghi de 60–90° sau rotunjite. Se dispun uneori mici sfere pe vîrfurile tijelor, spre a evita descărcări prin licăriri. La distanțe disruptive de 10–15 cm formele rotunde sînt mai puțin influențate de polaritate. Uneori se dă vîrfurilor o formă specială de bulb spre a mări capacitatea lor termică (mai ales în rețele cu neutrul pus la pămînt), sau de spirală deschisă care prin forțe electrodinamice face să se rotească piciorul arcului electric (fig. 67), îmbunătățind astfel condițiile de stingere a arcului, și în special evitînd perlarea și uzura electrozilor, ceeace ar duce la modificarea tensiunii de amorsare.

Spre a facilita stingerea arcului, vîrfurile tijelor se îndoaie ca și coarnele. Uniformizarea potențialelor cere în jurul izolatoarelor eclatoare

sub formă de inele deschise, cunoscute de la armăturile de protecție ale izolatoarelor de linie.



U_n kV	mm c	e	f
60	420	30	580
110	750	50	1010

Fig. 67. — Eclator de protecție cu vîrf în spirală.

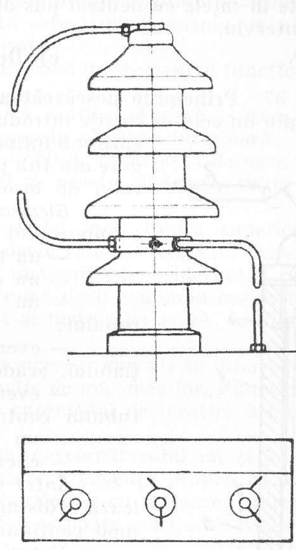


Fig. 68. — Eclator de protecție cu dublă distanță disruptivă.

Există eclatoare speciale cu dublă distanță disruptivă avînd un factor de impuls redus și o siguranță mai mare față de amorsări intempestive (fig. 68).

O dispoziție recentă și ingenioasă a eclatoarelor de protecție este următoarea: (fig. 69) se prevăd cîte două eclatoare vîrf-placă montate invers și în paralel pe același izolator, astfel, oricare ar fi polaritatea undei de impuls, amorsarea se va face întotdeauna de la vîrf pozitiv spre placă negativă, deci la o valoare mult mai precisă a tensiunii de impuls, cu puțin superioară celei de frecvență industrială. Deoarece armătura de bază a izolatoarelor-suport are caracterul unei plăci, este suficient a se monta tije cu vîrfuri, una pe capacul izolatorului și una pe bază, dar nu în același plan, ci decalate cu 90° astfel încît eclatoarele să lucreze independent. Astfel efectul de polaritate se înlătură și împrăștierea la amorsare devine mai mică.

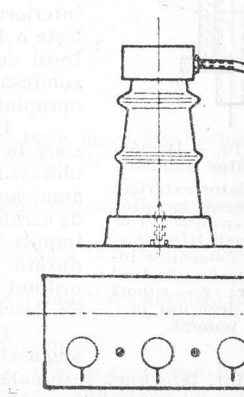


Fig. 69. — Eclatoare de protecție cu două distanțe vîrf placă, în paralel.

Eclatoarele de protecţie se montează pe majoritatea aparatelor de înaltă tensiune: separatoare, întreruptoare, transformatoare etc., şi se reglează din fabrică astfel încît să protejeze aparatul sau transformatorul respectiv, chiar în cazul cînd protecţia în restul instalaţiei nu este coordonată. Ele sînt mai indicate în reţele în care arcul de punere la pămînt se stinge, fie singur, din cauza capacităţii insuficiente, fie prin mijloace speciale de stingere (bobine Petersen). Sînt mai puţin indicate în reţele cu neutrul pus direct la pămînt, din cauza curenţilor foarte mari care intervin.

c) Descărcătoare tubulare

37. **Principiile descărcătoarelor tubulare.** Descărcătorul tubular este în principiu un eclator cu tije introdus într-un tub din materie izolantă care generează gaze sub influenţa arcului electric. Repulsia violentă a acestor gaze din tub provoacă stingerea arcului şi întreruperea curentului de însoţire.

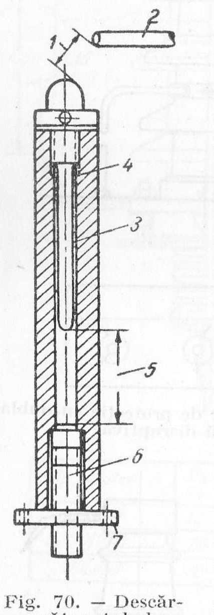


Fig. 70. — Descărcător tubular: *1*—eclator exterior; *2* — piesă metalică sub tensiune; *3* — electrod tijă; *4* — tub; *5*—eclator interior; *6*— electrod inelar; *7* — suport cu legătura la pămînt.

Elementele componente principale ale descărcătoarelor tubulare sînt (fig. 70):

— un tub din material izolant generator de gaze;
— un electrod tijă în interiorul tubului;
— un electrod inelar la extremitatea inferioară a tubului;
— eventual, dispozitive pentru uniformizarea potenţialului, scăderea factorului de impuls, etc.;
— eventual, un toc de porţelan pentru protecţia tubului contra intemperiilor;
— un dispozitiv de fixare a descărcătorului;
— eventual, un indicator de funcţionare.

Între descărcător şi conductorul de linie se intercalează o distanţă disruptivă exterioară spre a nu solicita în mod continuu izolaţia tubului.

Funcţionarea: la apariţia unei unde de supratensiune care întrece nivelul protejat de descărcător, se străpung spaţiile disruptive între electrozi atît cel exterior cît şi cel din interiorul tubului. Prin arcurile electrice care se nasc se stabileşte o legătură electrică de impedanţă joasă între conductorul de linie şi pămînt. O parte din energia undei fiind condusă la pămînt, tensiunea conductorului scade la o valoare apropiată de tensiunea de serviciu a reţelei.

Eclatorul cu tije are în mod natural o oarecare întîrziere la amorsare, deci un factor de impuls mai mare ca unitatea, din care cauză rezultă o împrăştiere a tensiunii de amorsare în funcţie de panta undei. Prin dispozitive speciale de ecranare această împrăştiere se poate reduce la factorul de impuls apropiat de unitate. Astfel, unde de foarte scurtă durată de ordinul cîtorva microsecunde cu pante mari (de ordinul 100 kV/μs) pot să fie incluse în domeniul protejat de descărcător.

Rezistenţa arcurilor şi cea a prizei de pămînt fiind singurele care rămîn practic în circuitul conductor linie-pămînt, tensiunea reziduală, dată de produsul curentului de scurgere prin aceste rezistenţe, este relativ redusă, în general de ordinul de mărime a tensiunii nominale.

După trecerea undei de supratensiune, spaţiile disruptive rămîn atît de ionizate încît tensiunea generatoarelor poate să menţină arcurile, făcînd să treacă

prin descărcător curentul de punere la pămînt sau curentul de scurtcircuit corespunzînd acelui punct al instalaţiei, sub formă de curent de însoţire; acesta solicită termic descărcătorul mult mai mult decît curentul de scurgere, datorită duratei mult mai mari, de ordinul sutimilor de secundă. Arcul din interiorul tubului degajă o cantitate mare de gaze, care nu reuşeşte să iasă imediat din tub. Presiunea în tub creşte la sute de atmosfere şi, ca urmare, gazele ionizate şi cele neutre din fundul tubului, năvălesc în mod exploziv prin orificiul inferior a tubului în atmosferă, spălînd şi răcind arcul din interior. Astfel acesta este stins la prima, la a doua sau a treia trecere prin zero a curentului de însoţire.

După valoarea curentului de însoţire, rezultă două limite pentru funcţionarea justă a descărcătorului:

—la curenţi care întrec valoarea de 7—10 kA cantitatea mare de gaze degajate nu se poate evacua la timp şi tubul se distruge prin presiune interioară;

— la curenţi sub o anumită limită, de 300—500 A, cantitatea de gaze degajată nu mai este suficientă pentru a stinge arcul şi acesta distruge tubul prin efect termic.

Alegerea descărcătoarelor trebuie făcută astfel încît limita superioară a curentului de însoţire a acestora să fie mai mare decît valoarea cea mai mare posibilă a curentului de scurtcircuit în acel punct al instalaţiei (considerînd şi componenta continuă), iar limita inferioară să fie mai mică decît valoarea cea mai mică posibilă a curentului de scurtcircuit în acel punct al instalaţiei (fără considerarea componentei continue).

Dimensionarea se face luînd ca bază media acestor curenţi în diferite reţele şi prevăzînd tipuri diferite de descărcătoare în funcţie de mărimea lor. Funcţionarea sigură a descărcătorului în limitele prevăzute ale curentului de însoţire urmează a se controla prin experienţe.

Aceste limite depind atît de construcţia descărcătorului cît şi de unele proprietăţi ale circuitului respectiv (factor de putere, frecvenţă proprie etc.)

Diametrul interior al tubului se alege proporţional cu valoarea curentului de însoţire. Prin funcţionare şi uzură acest diametru se poate mări, ceea ce modifică îndeosebi limita inferioară de funcţionare.

Avantajele recunoscute ale descărcătoarelor tubulare sînt:

— capacitatea mare de scurgere, cu o cădere de tensiune relativ redusă;
— putere mare de rupere;
— funcţionare sigură în limitele indicate,
— construcţie simplă, preţ redus.

Dezavantaje:

— tensiune de amorsare relativ ridicată;
— factor de impuls mare şi în consecinţă împrăştiere mare a valorilor tensiunii de amorsare în funcţie de panta şi polaritatea undei, de variaţia distanţei exterioare disruptive etc.;
— existenţa unor limite ale capacităţii de scurgere influenţate şi de gradul de uzură, care este greu de controlat;
— pericol de explozii sau distrugere la funcţionare în afara limitelor prevăzute;
— inerţie în stingerea curentului de insoţire, deci solicitare termică puternică a aparatului;
— zonă de gaze ionizate expulsate în cursul funcţionării.

O parte din aceste dezavantaje se pot atenua prin măsuri constructive adecuate, care se vor discuta în cele ce urmează. Ele marchează etape de evoluţie a acestor aparate şi de îmbunătăţire considerabilă a performanţelor, însă numai în dauna simplicităţii construcţiei tipurilor iniţiale.

38. **Dimensionarea descărcătoarelor tubulare.** Dimensionarea se face pe baza cîtorva criterii principale reprezentate de mărimile nominale şi a unor condiţii impuse în prealabil funcţionării (v. § 6).

Tensiunea nominală U_n este, indirect, criteriul pentru dimensionarea distanţelor disruptive şi a izolaţiei exterioare a tubului.

Din punctul de vedere al protecţiei izolaţiei instalaţiilor faţă de unde de supratensiune, interesul este ca tensiunea de amorsare la impuls să fie cît mai joasă, pentru ca descărcătorul să amorseze înainte de a se conturna vreun izolator în aval. Aceasta presupune distanţe disruptive cît mai reduse, dar în acest caz se ivesc dificultăţi la stingerea arcului, după cum se va vedea mai departe. Pentru asigurarea unei tensiuni de amorsare şi a unui factor de impuls scăzut se aplică diferite măsuri constructive, care se vor trata mai departe.

Spre a nu solicita suprafaţa exterioară a descărcătorului prin curenţi de fugă, care ar putea să-i dăuneze şi pentru a evita amorsarea descărcătorului la o parte din supratensiunile interne (de comutare) care prin frecvenţa apariţiei lor ar produce declanşări dese în reţele (prin protecţia selectivă), normele prevăd limite inferioare pentru distanţele exterioare disruptive. După normele sovietice limitele sînt cele date în tabela 13.

Tabela 13. Valori minime ale distanţelor disruptive exterioare la descărcătoare tubulare, după prescripţii sovietice

Tensiunea nominală a reţelei, kV	3	6	10	20	35 neutrul la pămînt	35 neutrul izolat	110
Distanţa disruptivă exterioară minimă, mm	10	10	15	40	50	60	250

Aceste distanţe nu exclud totuşi posibilitatea ca la anumite supratensiuni de comutaţie descărcătorul să funcţioneze.

Izolaţia exterioară a tubului se dimensionează la conturnare astfel ca, în condiţii atmosferice şi de depuneri date, să nu conturneze în nici un caz înainte de străpungerea spaţiului disruptiv interior al descărcătorului. De-a lungul unor suprafeţe drepte, distanţa de conturnare în aer se poate calcula cu ajutorul formulelor aproximative

$$a = \frac{U_{50} - 10}{3,5} \quad [\text{cm}] \tag{38.1}$$

în funcţie de tensiunea de amorsare la 50 Hz în kV_{ef} şi

$$a = \frac{U_c - 40}{5} \quad [\text{cm}] \tag{38.2}$$

în funcţie de tensiunea de amorsare la impuls la unda pozitivă normală de 1,5/40 μs.

Aici s-a considerat că electrozii între care are loc conturnarea sînt de forma vîrf-placă.

Curentul de scurgere a undei nu solicită termic descărcătorul fiind de durata cîtorva microsecunde, ci prin căderea de tensiune care apare la bornele descărcătorului şi care solicită electric izolaţia interioară şi exterioară a tubului. Desfăşurarea în timp a căderii de tensiune se poate deduce din forma presupusă a curen-

tului de scurgere şi din rezistenţa canalelor de descărcare. Această rezistenţă se calculează din caracteristica arcului după formula dată de Ayrton pentru arcuri lungi (v. cap. III. Aparate de conectare) sau după formula lui Toepler:

$$R = \frac{kl}{Q} \tag{38.3}$$

unde:

k este constanta lui Toepler avînd valoarea de $0,8 \cdot 10^{-3}$;
Q — cantitatea de electricitate scursă prin arc, în C;
l — lungimea arcului în cm.

Se obţine astfel panta, amplitudinea şi durata căderii de tensiune, şi se poate controla dacă distanţele de conturnare şi liniile de fugă sînt bine dimensionate.

Curentul de însoţire se ia ca bază alături de tensiunea nominală şi frecvenţa proprie a reţelei în dimensionarea tubului din punctul de vedere al puterii de rupere. Se aplică întocmai criteriile cunoscute din teoria stingerii arcului electric şi a întreruptoarelor cu autoextincţie. Deasupra electrodului superior se prevede un volum de aer care serveşte la micşorarea presiunii în timpul valorilor instantanee mari ale curentului şi dă aerul pentru spălarea şi răcirea arcului, în timpul valorilor instantanee mici ale acestuia.

Volumul respectiv se dimensionează pe baza termodinamicei gazelor sau după experienţă. El este aproximativ 30—50 cm^3. Arcul trebuie să treacă cît mai aproape de pereţii reci a unor izolanţi generatori de gaze. Diametrul interior al tubului respectiv al orificiilor prin care trece arcul se dimensionează în funcţie de curentul de însoţire şi de distanţele disruptive.

Cantitatea de gaze degajate se stabileşte pe cale experimentală pentru fiecare material. Spre orientare se poate nota că sticla organică (plexiglas) degajă aproximativ 2 000 cm^3/g, iar un tub cu diametrul interior de 6 mm se lărgeşte, după 14 funcţionări cu un curent de însoţire de 1,3 kA, la 9 mm, pierzînd deci 0,13 g de material de fiecare funcţionare, ceea ce corespunde unui volum de gaze de 270 cm^3.

După Mihailov presiunea în tub se poate calcula cu ajutorul formulei

$$p = \frac{1}{1962} \frac{G^2 V_m}{k S^2 t^2}, \quad [\text{kg/cm}^2] \tag{38.4}$$

unde:

G este greutatea gazelor degajate, în kg;
V_m volumul unui kg de gaze (în cm^3) la temperatura din interiorul tubului (circa 1 000°C);
S — secţiunea orificiului de evacuare, în cm^2;
t — durata arcului, în s;
k — o constantă de material (k = 0,25 pentru sticlă organică).

La distanţe disruptive relativ reduse volumul de gaze scade şi stingerea arcului este mai dificilă, deci curentul de însoţire admisibil scade. Spre a asigura o putere de rupere mare este necesar ca distanţele disruptive să fie cît mai mari; pentru scăderea tensiunii de amorsare la impuls se impun deci alte mijloace decît reducerea acestor distanţe.

39. **Principii constructive pentru descărcătoare tubulare.** α) *Tubul generator de gaze* este elementul principal constructiv. La primele şi la cele mai multe tipuri existente el este concomitent elementul constructiv purtător al celorlalte părţi, trebuind deci să aibă o rezistenţă mecanică şi o formă corespunzătoare.

Partea exterioară a tubului trebuie să fie izolantă şi să aibă o tensiune de conturnare mai mare decît tensiunea de amorsare a eclatorului. Această condiţie trebuie să fie îndeplinită şi în cazul de intemperii şi de depuneri de praf. Partea interioară trebuie să îndeplinească aceaşi condiţie de rezistenţă la conturnare, dar nu este expusă intemperiilor, ci numai umidităţii. În schimb trebuie să fie dintr-o materie care sub influenţa arcului electric generează gaze. Este în general greu de găsit un material care îndeplineşte toate aceste condiţii. Tuburile din fibră, hîrtia bachelizată, viniflexul, ebonita şi materialele izolante similare au nevoie să fie vopsite în exterior cu lacuri speciale nehigroscopice, spre a le proteja de influenţa umezelii. Aceste pături de lac nu rezistă la intemperii, astfel încît lăcuirea trebuie reînoită anual, ceea ce reprezintă un dezavantaj mare pentru exploatare. Sticla organică nu necesită o lăcuire exterioară, generează gaze în mare cantitate dar este un material relativ scump. Rezistenţa sa mecanică relativ redusă (600—150 kg/cm²) scade repede peste temperatura de 80°C şi la solicitări bruşte, a creat oarecare dificultăţi în realizarea descărcătoarelor tubulare la care tubul de plexiglas constituie şi elementul de rezistenţă mecanică.

Multe construcţii moderne preferă introducerea tubului generator de gaze într-o carcasă de porţelan, ale cărei forme şi dimensiuni se apropie de cele ale unui izolator de trecere de aceeaşi tensiune nominală. Din punct de vedere mecanic şi electric carcasa de porţelan corespunde cel mai bine condiţiilor impuse: rezistă la intemperii (la forma obişnuită pentru izolatoare de exterior), are o tensiune de conturnare sub ploaie mare şi este rezistentă din punct de vedere mecanic. În schimb la tensiuni peste 35 kV ea devine atît de scumpă faţă de celelalte părţi ale descărcătorului, încît costul total se apropie de acel al descărcătoarelor cu rezistenţă variabilă, care au caracteristici electrice superioare.

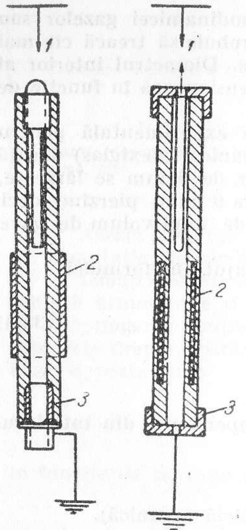


Fig. 71. — Descărcătoare cu electrod suplimentar.

β) *Eclatorul interior* are electrozi de forme diferite. Cel superior este o vergea metalică cilindrică de 6—10 mm⌀ din cupru sau oţel zincat, ca la eclatoarele cu tije (v. fig. 70). Capătul inferior se rotunjeşte, spre a reduce uzura electrodului şi a păstra astfel cît mai constantă tensiunea de amorsare. De fapt suprafeţele electrozilor pe care le atacă piciorul arcului ar trebui confecţionate dintr-un material rezistent la arc, cum este Wolframul sau Molibdenul, dar aceasta contravine principiului economiei, care se consideră un avantaj important la descărcătoarele tubulare. În acest caz electrodul se poate confecţiona din două metale diferite, de exemplu vergeaua cilindrică din oţel, iar vîrful din cupru (eventual cu o pastilă de Wolfram), fixat de vergea prin înşurubare. Eclatorului inferior i se dă forma inelară sau tubulară spre a permite eşaparea gazelor din tub. Materialul este oţel sau cupru (v. fig. 70).

γ) *Eclatorul exterior*, care la începutul evoluţiei se lăsa între conductorul suspendat şi descărcător, deci expus mişcărilor conductorului datorită vîntului şi greşelilor de montare, se cuprinde la unele tipuri moderne în însaşi construcţia descărcătorului, distanţa disruptivă exterioară reglîndu-se astfel şi ea în fabrică.

δ) *Electrozi suplimentari* se numesc, după indicaţii sovietice, dispozitivele prevăzute pentru a uniformiza potenţialul la aplicarea undelor de impuls şi a

scădea întîrzierea la amorsare a eclatorului interior. Astfel de dispozitive au forma unor tuburi sau inele metalice care impresoară tubul izolant sau sînt îngropate în materialul acestuia (v. fig. 71). La descărcătoarele sovietice de tipul RT electrodul suplimentar se prezintă sub forma unei benzi metalice subţiri (staniol), care se introduce în cursul fabricaţiei în interiorul masei de hîrtie bachelizată (v. fig. 72).

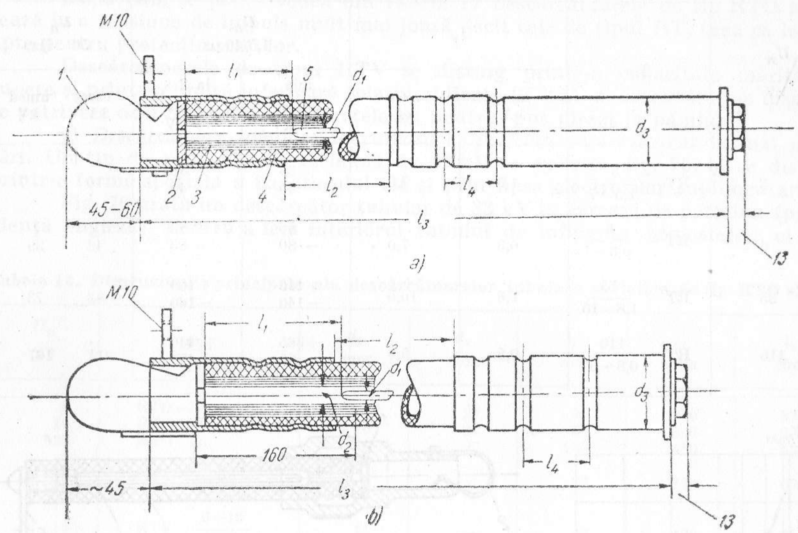


Fig. 72. — Descărcătoare tubulare sovietice de tipul RT din fibră: *a* — 35; 110 kV; *b* — 3; 6 kV; *1* — indicator de funcţionare; *2* — electrod inferior inelar; *3* — tub de fibră; *4* — tub de hîrtie bachelizată; *5* — electrod tijă.

40. **Tipuri de descărcătoare tubulare.** α) *Tipul sovietic RT* are tubul gazogen din fibră (fig. 72). Peste el se aplică un înveliş tubular din hîrtie bachelizată, mai puţin higroscopică decît fibra şi mai rezistentă din punct de vedere mecanic. Electrodul inferior, din oţel zincat, are forma unei plăci cu o gaură în formă de stea. Datele geometrice principale rezultă din tabela 14, notaţiile fiind cele din fig. 72.

Tabela 14. Dimensiunile descărcătoarelor tubulare sovietice de tip RT

U_n, kV	Tip	d_1 mm	d_2 mm	d_3 mm	l_1 mm	l_2 mm	l_3 mm	G kg
3	RT — $\frac{3}{1,5-7}$	5,2	8	35	40	138±8	344±8	1,0
6	RT — $\frac{6}{0,3-7}$	5,2	10	45	130	233±20	250±20	1,8
35	RT — $\frac{35}{1,8-10}$	7,5	12	60	140	410±30	710±30	4,2
110	RT — $\frac{110}{0,8-5}$	7,5	16	76	350	850±10	1228±10	9,2

În coloana pentru tip după indicativul RT în numărător se dă tensiunea nominală în kV, iar în numitor limitele curentului de însoţire în kA.

Caracteristicile electrice ale acestor descărcătoare sînt cuprinse în tabela 15.

Tabela 15. Caracteristicile electrice ale descărcătoarelor sovietice de tipul RT

U_n kV	Tip	I_r min kA	I_r max kA	U_a 1,5/40 μs min + kV − kV	U_a 1,5/40 μs la 2 s + kV − kV	U_a 50 Hz uscat kV	U_a 50 Hz umed kV
3	RT − $\frac{3}{1,5-7}$	1,5	7,0	+ 35 − 40	+ 40 − 45	10	7
6	RT − $\frac{6}{0,3-7}$	0,3	7,0	+ 80 − 80	+ 83 − 83	42	39
35	RT − $\frac{35}{1,8-10}$	1,8	10,0	+140 −140	+160 −160	83	73
110	RT − $\frac{110}{0,8-5}$	0,8	5,0	+365 −400	+440 −470	211	167

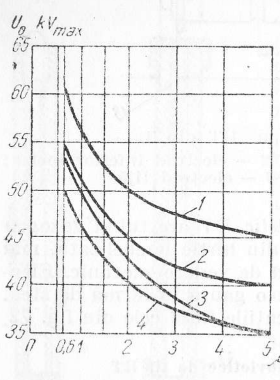


Fig. 73. — Caracteristica de protecţie a descărcătoarelor tubulare tip RT de 3 kV:

1 — undă negativă, fixare prin capătul deschis; *2* — undă negativă, fixare prin capătul închis; *3* — undă pozitivă, fixare prin capătul deschis; *4* — undă pozitivă, fixare prin capătul închis.

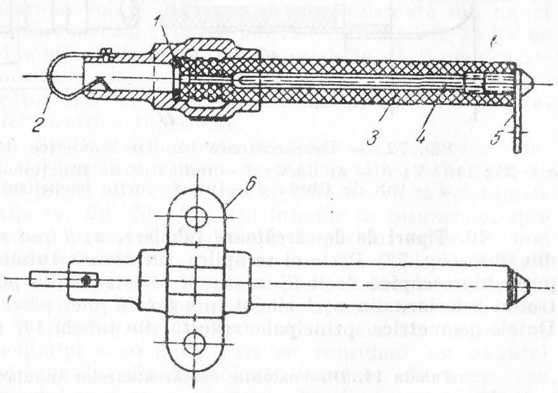


Fig. 74. — Descărcător tubular sovietic de tipul RTO din sticlă organică:

1 — electrod inelar; *2* — indicator de funcţionare; *3* — tub din sticlă organică; *4* — electrod tijă; *5* — clemă de fixare a electrodului exterior; *6* — brăţară de fixare.

Caracteristica de protecţie a descărcătoarelor de 3 kV cu 1,5 respectiv 7 kA curent de rupere se dă în fig. 73.

După tensiunile de amorsare la impuls relativ ridicate, acest tip de descărcător se potriveşte pentru protecţia liniilor aeriene care au un nivel de izolaţie mai ridicat.

β) *Tipurile sovietice RTO şi RTV* au tubul din sticlă organică (plexiglas) respectiv viniplast (fig. 74) şi sînt dealtfel similare celor de tip RT. Dimensiunile sînt date în tabela 16, notaţiile corespunzînd celor din fig. 72 (v. şi fig. 74).

Aceste descărcătoare se construiesc pentru tensiuni pînă la 35 kV inclusiv.

După cum se poate vedea din tabela 17 descărcătoarele de tip RTO amorsează la o tensiune de impuls mult mai joasă decît cele de tipul RT, ceea ce le face apte pentru protecţia staţiilor.

Descărcătoarele de tipul RTV se disting printr-o capacitate mărită de rupere şi printr-o limită inferioară relativ ridicată (2 kA) a curentului de însoţire; se potrivesc deci mai ales pentru reţele cu neutrul pus direct la pămînt.

γ) *Descărcătoare tubulare în carcasă de porţelan* s-au fabricat în mai multe ţări. Un tip de provenienţă germană de 15 kV se vede în fig. 75, şi se distinge printr-o formă specială a izolatorului cît şi prin lipsa electrozilor suplimentari.

Fig. 76 arată un descărcător tubular de 33 kV în carcasă de porţelan (provenienţă engleză). Pentru a feri interiorul tubului de influenţa atmosferei, el este

Tabela 16. Dimensiunile principale ale descărcătoarelor tubulare sovietice de tip RTO şi RTV

U_n kV	Tip	d_1 mm	d_2 mm	l_1 mm	l_2 mm	l_3 mm
6	RTO−6	10	27	40	250	336
10	RTO−10	10	27	60	300	386
35	RTO−35	10	27	138	450	536
6−10	RTV− $\frac{6-10}{0,5-5}$	6	—	62	430	677
6−10	RTV− $\frac{6-10}{2-15}$	11	—	60	430	677
35	RTV− $\frac{35}{2-1}$	11	—	140	640	887

Tabela 17. Caracteristicile electrice ale descărcătoarelor tubulare sovietice de tipul RTO şi RTV

U_n kV	Tip	I_r min kA	I_r max kA	U_a 1,5/40 μs min +kV −kV	U_a 1,5/40 μs la 2μs +kV −kV	U_a 50 Hz uscat kV	U_a 50 Hz umed kV
6	RTO−6	0,5	4,0	+ 38 − 36	+ 42 − 38	35	31
10	RTO−10	0,4	3,5	+ 47 − 46	+ 54 − 51	44,5	33
35	RTO−35	0,1	1,5	+105 −132	+108 −140	100	95
6−10	RTV− $\frac{6-10}{0,5-5}$	0,5	5,0				
6−10	RTV− $\frac{6-10}{2-15}$	2,0	15,0				
35	RTV− $\frac{35}{2-10}$	2,0	10,0				

închis la partea inferioară printr-un dop legat cu un lănţişor. Dezavantajul acestui dispozitiv este că dopul ar trebui să fie pus la loc după fiecare funcţionare, ceea ce este practic imposibil.

Dopul are următoarele funcţii:

— protejează eclatorul interior de influenţe exterioare (umiditate, praf, insecte etc.);

— coboară limita inferioară de funcţionare, îmbunătăţind condiţiile de stingere a curenţilor de mică intensitate;

— serveşte drept indicator de funcţionare.

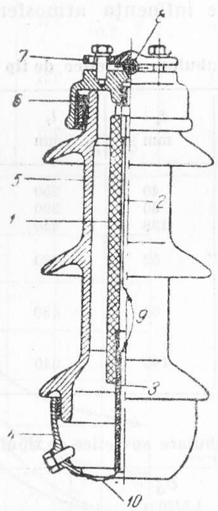


Fig. 75. — Descărcător tubular în carcasă de porţelan:
1 — tub extinctor; 2 — electrod tijă; 3 — electrod tubular; 4 — capac inferior cu legătură la pămînt; 5 — carcasă din porţelan; 6 — capac superior; 7 — cleme de fixare; 8 — conductor de linie; 9 — eclator interior; 10 — eclator exterior.

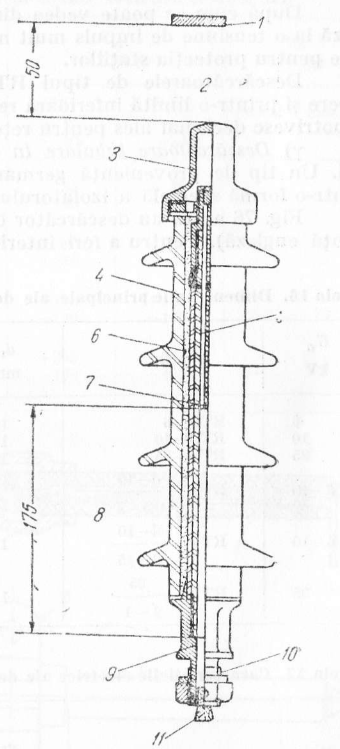


Fig. 76. — Descărcător tubular de 33 kV în carcasă de porţelan:
1 — electrod sub tensiune; 2 — eclator exterior; 3 — capac metalic; 4 — carcasă de porţelan; 5 — spaţiu de aer; 6 — compound; 7 — electrod tijă; 8 — eclator interior; 9 — electrod tubular; 10 — şurub de fixare; 11 — dop indicator.

În fig. 77 s-a reprezentat o secţiune printr-un descărcător (construit în SUA) care posedă pe lîngă un tub interior un dispozitiv pentru difuzarea şi amestecarea gazelor. Arcul este forţat să treacă prin găurile înguste ale elementelor difuzorului, unde este răcit de pereţii apropiaţi. Intervalele dintre elementele difuzoare servesc la amestecarea mai eficace a gazelor care provin din apropierea imediată a arcului, respectiv din camera de micşorare a presiunii. Astfel se favorizează stingerea arcului la prima trecere prin zero a curentului de însoţire.

Orificiul de evacuare este dirijat lateral, spre a împiedica gazele ionizate să ajungă în apropierea altor conductoare active.

41. Utilizarea, montarea şi întreţinerea descărcătoarelor tubulare. La utilizarea descărcătoarelor tubulare în reţele trebuie să se ţină seama de: tensiunea nominală, de limitele curentului de însoţire, de caracteristica de protecţie a descărcătoarelor, de tratarea neutrului reţelei, de curenţii de scurtcircuit şi de locul de instalare.

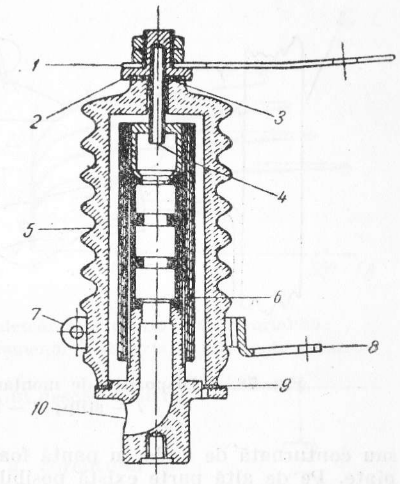


Fig. 77. — Descărcător tubular în carcasă de porţelan cu difuzor de gaze:
1 — legătura la linie; 2 — piuliţă specială; 3 — garnitură de etanşare; 4 — electrod superior; 5 — izolator de porţelan; 6 — ansamblu difuzor; 7 — brăţară; 8 — legătură de pămînt; 9 — garnitură de etanşare; 10 — orificiu de evacuare a gazelor.

În reţele cu neutrul legat direct la pămînt, descărcătorul are de întrerupt curentul de scurtcircuit monofazat al reţelei în punctul de montare, curent care trebuie să fie mai mic, decît limita superioară a curentului de însoţire nominal.

În reţelele cu neutrul izolat, descărcătorul are de stins, la funcţionare pe o fază, numai curentul capacitiv de punere la pămînt a fazei respective, curent care este de obicei sub limita inferioară admisă. Totuşi, experienţe făcute practic în reţea au arătat că descărcătoarele tubulare sting cu certitudine în reţelele cu neutrul izolat, curenţi monofazaţi de punere la pămînt care nu depăşesc 20 A. Acesta prezintă importanţă mare deoarece majoritatea reţelelor, care funcţionează cu neutrul izolat, au un curent de punere la pămînt mai mic decît această valoare. Descărcătoarele tubulare lucrează în condiţii favorabile în reţele cu bobine de stingere, în care stingerea arcurilor de punere la pămînt este preluată de bobine.

La funcţionare pe două sau trei faze, rămîne de întrerupt curentul de scurtcircuit bi-sau trifazat în punctul respectiv al reţelei, ceea ce descărcătoarele tubulare pot realiza cu uşurinţă. Asupra locului de instalare al descărcătoarelor tubulare, există în prezent o experienţă suficientă. Astfel în URSS s-au emis prescripţii oficiale pentru condiţiile de montare în reţea a descărcătoarelor (v. Vol. IV cap. Supratensiuni).

Din punct de vedere constructiv la montare trebuie să se ţină seama de reglarea corectă a intervalului disruptiv exterior, de spaţiul de gaze ionizate, care trebuie păstrat liber şi de dispunerea cît mai dreaptă a legăturii la pămînt. Prescripţiile de montare ale fabricii prevăd instrucţiuni în acest sens. În lipsa lor intervalul exterior disruptiv se reglează la valoarea din tabela 14, iar sub orificiul de evacuare se păstrează un spaţiu liber conic de o lungime de 2 m şi o bază de 1,5 m. Un exemplu pentru un dispozitiv de montare a descărcătoarelor tubulare sovietice se vede în fig. 78.

Din punct de vedere al întreţinerii, descărcătoarele tubulare montate pe linie impun personalului o supraveghere a indicatoarelor de funcţionare. La tubul din hîrtie bachelizată este necesară lăcuirea anuală a părţilor exterioare izolante, ceea ce impune demontarea tubului, şi constituie unul din dezavantajele serioase ale acestui tip de descărcător. Cu această ocazie trebuie controlată şi uzura diame-

trului interior al tubului care poate să modifice limitele admise ale curentului de însoţire şi să facă necesară înlocuirea tubului.

Din cele expuse mai sus rezultă că datorită caracteristicei de impuls abruptă a descărcătoarelor tubulare, izolaţia protejată de acestea poate să fie străpunsă

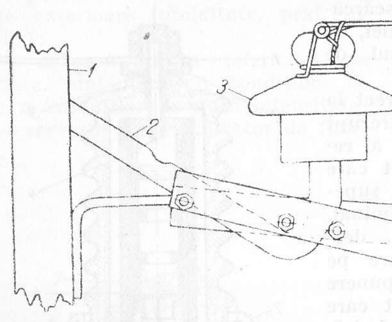


Fig. 78. — Dispozitiv de montare pe stîlp a unui descărcător tubular: *1* — stîlp; *2* — fier curb; *3* — izolator.

sau conturnată de unde cu pantă foarte mare, cum apar la trăsnete directe apropiate. Pe de altă parte există posibilitatea ca însăşi descărcătorul tubular să fie distrus de curenţi de însoţire în afara limitelor admisibile. Este de remarcat însă că aceste dezavantaje există şi la alte tipuri mult mai perfecţionate de descărcătoare, aşa cum se va vedea mai departe.

d) Descărcătoare cu caracteristică neliniară

42. **Principile descărcătoarelor cu caracteristică neliniară.** *Caracteristica neliniară* s-a impus în construcţia descărcătoarelor din cauza celor două condiţii fundamentale cerute aparatelor de protecţie împotriva supratensiunilor, şi anume de a prezenta pe de o parte undelor de impuls o rezistenţă cît mai mică de scurgere la pămînt, pe de altă parte de a limita curentul de însoţire la valori care permit uşor întreruperea lui. Aceste condiţii antagoniste nu se pot realiza decît cu ajutorul unei caracteristici tensiune-curent, care, la depăşirea unor limite ale tensiunii, permite în mod automat trecerea unui curent mare (fig. 79).

Caracteristica tensiune-curent a acestor descărcătoare este neliniară, deci nu mai corespunde unei rezistenţe constante. Depăşirea unei anumite tensiuni provoacă o scădere atît de bruscă a rezistenţei, încît permite trecerea unui curent foarte mare. Invers, la scăderea supratensiunii de impuls, rezistenţa creşte în mod automat, astfel încît curentul de însoţire este strangulat la valori care se pot stinge în mod sigur de către eclatoarele legate în serie.

O astfel de caracteristică se poate realiza în mai multe feluri. O soluţie prevede utilizarea caracteristicii favorabile a descărcărilor luminiscente între electrozi din semiconductori, ceea ce permite trecerea unor curenţi mari prin extinderea superficială a descărcării pe electrod. Astfel rezistenţa totală scade în funcţie de curent (autovalve, descărcătoare catodice). Caracteristica neliniară se poate realiza de asemeni cu ajutorul unor semiconductori. În acest scop se utilizează aproape exclusiv carbura de siliciu (SiC) sub formă de blocuri, discuri,

sau praf cristalin (descărcătoare cu rezistenţă variabilă). În fine mai există descărcătoare bazate pe proprietatea plumbului de a oxida repede contactele punctiforme între sfere mici, stratul izolant fiind uşor străpuns la tensiuni mai ridicate.

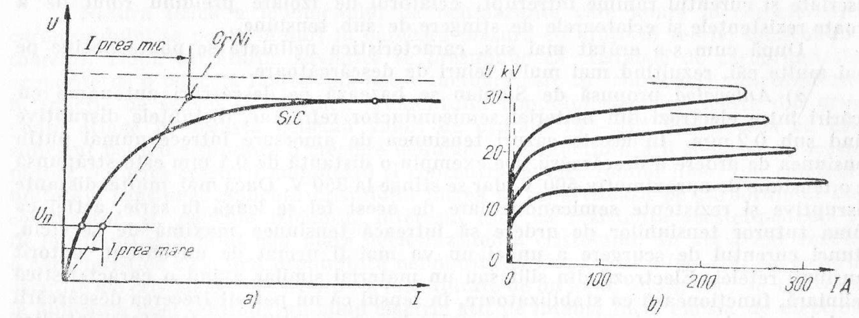


Fig. 79. — Caracteristica neliniară a unui descărcător cu rezistenţă variabilă: *a* — comparaţie cu o rezistenţă liniară; *b* — fenomenul histerezis la rezistenţe neliniare

Elementele componente principale ale unui descărcător cu rezistenţă variabilă sînt (fig. 80):

— un eclator de izolare;
— o serie de eclatoare de stingere a curentului de însoţire;
— o coloană de discuri semiconductoare (de obicei SiC);
— o carcasă de porţelan, care poartă:
o bornă de linie pentru conductorul activ,
o bornă pentru legătură la pămînt.

Eclatorul de izolare poate să lipsească la descărcătoarele cu tensiuni nominale sub 60 kV, izolarea şi întreruperea curentului fiind preluate de către eclatoarele de stingere. La tensiuni nominale sub 500 V şi acestea se pot elimina, toate funcţiunile fiind preluate de coloana cu rezistenţă variabilă.

43. **Funcţionarea.** La apariţia unei unde de supratensiune atmosferică, după depăşirea tensiunii de amorsare este străpuns întîi eclatorul de izolare, apoi toate eclatoarele de stingere, şi tensiunea se aplică coloanei semiconductoare. Rezistenţa acesteia scăzînd în mod automat şi fără inerţie, se realizează o legătură de impedanţă foarte mică cu pămîntul prin care o mare parte a energiei electrice a undei se scurge în pămînt. Curentul de scurgere avînd în timp o desfăşurare similară cu cea a tensiunii (fig. 58 şi tabela 13) are amplitudini de ordinul kiloamperilor, însă durează în total mai puţin de 0,1 ms.

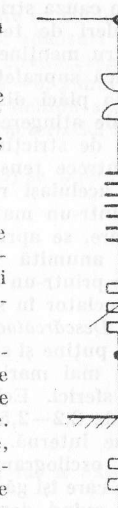


Fig. 80. — Schema principială a unui descărcător cu rezistenţă variabilă: *1* — eclator de izolare; *2* — eclator de stingere; *3* — rezistenţă variabilă.

După anihilarea supratensiunii, odată cu scăderea curentului de scurgere şi a tensiunii, rezistenţa coloanei de semiconductori creşte repede şi descărcătorul rămîne numai sub tensiunea de frecvenţă industrială a reţelei, care provoacă, după faza în care se află, un curent de ordinul a cîtorva zeci de amperi, avînd sens identic sau opus curentului de scurgere. În cazul cînd sensul tensiunilor şi curenţilor este opus, curentul de însoţire nu apare întot-

deauna, din cauză că aceasta presupune o reionizare a distanţelor disruptive între eclatoare. La prima trecere prin zero a curentului de însoţire arcurile din eclatoarele de stingere nu se mai pot reaprinde din cauza căderilor catodice înseriate şi curentul rămîne întrerupt, eclatorul de izolare preluînd rolul de a scoate rezistenţele şi eclatoarele de stingere de sub tensiune.

După cum s-a arătat mai sus, caracteristica neliniară se poate obţine pe mai multe căi, rezultînd mai multe feluri de descărcătoare.

α) *Autovalva* propusă de Slepian se bazează pe descărcări autonome cu licăriri între electrozi din material semiconductor refractar, distanţele disruptive fiind sub 0,2 mm. În aceste cazuri tensiunea de amorsare întrece numai puţin tensiunea de ardere a descărcării. De exemplu o distanţă de 0,1 mm este străpunsă la o tensiune de aproximativ 500 V, dar se stinge la 350 V. Dacă mai multe distanţe disruptive şi rezistenţe semiconductoare de acest fel se leagă în serie, astfel ca suma tuturor tensiunilor de ardere să întreacă tensiunea maximă de serviciu, atunci curentul de scurgere a undei nu va mai fi urmat de un curent datorit tensiunii reţelei. Electrozii din silit sau un material similar avînd o caracteristică neliniară, funcţionează ca stabilizatoare, în sensul că nu permit trecerea descărcării luminiscente în arc, deoarece pentru aceasta nu se atinge o densitate catodică suficientă. Anume dacă într-un punct pe suprafaţa discurilor semiconductoare densitatea de curent necesară trecerii descărcării într-un arc electric ar fi atinsă, atunci din cauza stricţiunii liniilor de curent din interiorul discurilor s-ar produce atari scăderi de tensiune, încît tensiunea total necesară ar fi mai mare decît acea pentru menţinerea descărcării luminiscente.

Dacă suprafeţele discurilor rezistente sînt suficient de rugoase, se poate renunţa la plăci distanţoare din mică şi discurile se pot suprapune direct. În punctele de atingere a discurilor apare, din cauza stricţiunii liniilor de curent, o rezistenţă de stricţiune atît de mare încît căderea de tensiune prin punctele de contact întrece tensiunea de ardere a descărcărilor care se dezvoltă în paralel. Pe baza aceluiaşi raţionament s-a trecut la realizarea rezistenţei variabile din blocuri dintr-un material poros. Din cauza creşterii căderii de tensiune pe căile conductoare, se aprind mici descărcări în porii blocului imediat ce tensiunea întrece o anumită valoare critică. La tensiunea de serviciu a reţelei, curentul care trece printr-un astfel de bloc este atît de redus încît se poate uşor stinge de către un eclator în serie.

β) *Descărcătoarele catodice* sînt similare cu autovalvele, dar au plăci rezistente mai puţine şi sting un curent de însoţire mai mare decît autovalvele, datorită unei serii mai mari de eclatoare de stingere şi a unui eclator de izolare avînd electrozi sferici. Eclatoarele se reglează astfel, încît amorsează la 50 Hz, la o tensiune de $2{,}2-2{,}5 \cdot U_n$, lucru necesar pentru a evita amorsarea la supratensiuni de origine internă.

În oscilogramele curbelor caracteristice apare un fenomen de histerezis (fig. 79 *b*) care îşi găseşte explicaţia în faptul că descărcarea cu licăriri, la început anomală, avînd densităţi catodice de 80–90 A/cm², caută să se extindă pe electrod cu o viteză de 250 m/s, scăzînd densitatea la 50 A/cm², pe cînd în stare staţionară aceasta este doar de ordinul de mărime a 10 A/cm². De aceea curentul începe să scadă cînd această extindere şi apropiere de stare normală continuă. În această fază de scădere a tensiunii descărcările individuale se sting progresiv pînă se întrerup toate. Spre a obţine o stingere sigură chiar în caz de defect în reţea, se construiesc descărcătoarele astfel încît tensiunea de stingere să fie cel puţin egală cu $1{,}3 \cdot U_n$ al descărcătorului.

γ) *Descărcătoarele cu rezistenţă variabilă* realizează caracteristica neliniară numai cu ajutorul unor rezistenţe legate în serie, sub forma unor discuri dintr-un material semiconductor. S-a găsit că cea mai potrivită materie primă pentru con-

fecţionarea rezistenţei variabile este carbura de siliciu sau carborundul (SiC). Carborundul preparat după anumite reţete bine studiate amestecat cu un liant potrivit şi copt în discuri compacte formează elementele de bază ale acestor descărcătoare denumite după materialul activ: tirit, vilit, resorbit, etc.

Natura fizică a fenomenului de neliniaritate care apare în caracteristica carborundului se poate lămuri în oarecare măsură cu ajutorul teoriei semiconductoarelor. După cercetările sovietice se presupune că cristalele de carborund sînt acoperite de o peliculă foarte fină neconductoare care îşi schimbă conductibilitatea în funcţie de sensul şi mărimea gradientului cîmpului electric. Acesta din urmă poate atinge în această peliculă valori de ordinul 10^3-10^4 V/cm, ceea ce este suficient pentru a produce o creştere neliniară a conductibilităţii electrice a acestei pături, datorită creşterii mobilităţii şi concentraţiei electronilor liberi (de conductibilitate). Tensiunea aplicată cristalului întreg se repartizează pe carborundul bun conducător şi pelicula izolantă. Interesul este ca rezistenţa acestei pelicule să fie la curenţi mici mult mai mare decît rezistenţa cristalului. În acest caz rezultă o caracteristică cu o mai pronunţată neliniaritate. După o altă ipoteză, pe vîrfurile ascuţite ale cristalelor de carborund, înconjurate de un liant anorganic, se dezvoltă, la aplicarea unei tensiuni, un cîmp electric atît de intens, încît emisia de electroni la rece este posibilă. Curentul care trece multiplică numărul de electroni prin termoionizare. Întîrzierea termoionizării determină fenomenul de histerezis care apare în oscilograme (v. fig. 79, *b*).

Dozarea potrivită a amestecului de materii prime din care se confecţionează carborundul (cărbune de petrol, strunjitură de lemn, sare, cît şi adaosuri de impurităţi, conţinînd aluminiu — Al_2O_3 — şi fier — Fe_2O_3 — etc), conducerea specială a procesului de fabricaţie, alegerea unei granulaţii potrivite (0,07–0, 2 mm) amestecarea şi presarea cît şi coacerea cu un liant potrivit (sticlă lichidă sau materii ceramice) au permis fabricarea unor rezistenţe variabile cu caracteristici mecanice, termice şi electrice foarte favorabile.

Caracteristica tensiune-curent a acestor materiale (fig. 78) se poate exprima prin formulele

$$U = CI^{\alpha} \text{ pentru } U > 0 \qquad U = -C(-I)^{\alpha} \text{ pentru } U < 0 \tag{43.1}$$

sau inversele lor

$$RI^{\beta} = C \tag{43.2}$$

$$I = kU^{\gamma} \tag{43.3}$$

unde s-a notat : $\beta = 1 - \alpha$; $\gamma = \dfrac{1}{\alpha}$; $k = C^{-\gamma}$

Dintre acestea, C se numeşte coeficient de conductibilitate, iar α exponent de neliniaritate.

44. **Comparaţia cu alte descărcătoare** permite o evidenţiere a avantajelor şi dezavantajelor descărcătoarelor cu caracteristică neliniară. În multe puncte funcţionarea se aseamănă cu cea a descărcătoarelor tubulare. Deosebirea fundamentală constă în automatismul şi lipsa de inerţie a variaţiei rezistenţei, în scăderea mult mai lină a impedanţei la pămînt, cît şi în stingerea mai sigură a curentului de însoţire la descărcătoarele cu caracteristică neliniară.

La descărcătoarele cu caracteristică neliniară procesul de întrerupere a curentului de însoţire nu depinde de valoarea acestuia şi nici de frecvenţa proprie a reţelei ca la cele tubulare. Întreruperea curentului de însoţire avînd loc întotdeauna la trecerea prin zero a curentului, nu apar unde cu pantă mare din cauza

întreruperii forţate a curentului înainte de trecerea naturală prin zero, lucru posibil la unele construcţii de descărcător tubular, în cazul întreruperii curenţilor foarte mari. În aceste condiţii descărcătoarele cu rezistenţă variabilă nu fac apel la protecţia selectivă a reţelei pentru lămurirea unor arcuri permanente de scurt-circuit sau de punere la pămînt. Descărcătorul cu caracteristică neliniară funcţionează prin natura sa în bune condiţii independent de valoarea curentului de scurt-circuit în acel punct al reţelei.

Amorsarea cu o întîrziere şi împrăştiere cît mai mică se realizează mai uşor la descărcătoarele cu caracteristică neliniară. Eclatorul de izolare fiind montat în spaţiul ermetic închis al carcasei de porţelan, este scos de sub influenţa variaţiilor de presiune, de umiditate şi de depuneri ale atmosferei. Forma acestui eclator poate realiza mult mai uşor un cîmp omogen, ea nefiind condiţionată de spaţiul cilindric îngust din interiorul tuburilor extinctoare. Prin aceasta, precum şi prin alte multe mijloace de uniformizare a cîmpului, factorul de impuls a acestor descărcătoare se poate apropia mult de unitate. Există construcţii la care acest factor este chiar subunitar, deci descărcătorul amorsează la tensiunea de impuls mai repede, decît la tensiunea respectivă de frecvenţă industrială.

Dezavantajele principale ale descărcătoarelor cu caracteristică neliniară sînt:

— construcţia mult mai complicată şi mai delicată, care necesită o grijă mai mare în fabricaţie şi în verificările experimentale;

— existenţa unei limite superioare a curentului de scurgere, ceea ce implică posibilitatea distrugerii în exploatare.

Acest neajuns se caută a se elimina prin majorarea curentului de scurgere nominal, care a ajuns, la descărcătoarele normale, la 5 şi 10 kA, iar la unele construcţii speciale 50 kA, valoare care, după statistici, se depăşeşte în mai puţin decît în 0,1 % din cazurile de funcţionare. Valoarea de 50 kA s-a obţinut cu ajutorul unei scheme de legături cunoscute din teoria filtrelor. În anumite construcţii se încearcă mărirea capacităţii de rupere a curentului de însoţire, prin suflaj magnetic sau pneumatic al arcului.

45. Tehnologie şi construcţie. α) *Realizarea caracteristicii neliniare* este problema centrală în fabricaţia descărcătoarelor. Soluţia tehnică justă nu s-a cristalizat decît după îndelungate cercetări ştiinţifice. O parte din fabricile constructoare şi-au îndreptat atenţia asupra îmbunătăţirii materialului semiconductor, rezultînd materiale cu caracteristici favorabile ca tiritul, altele au adăogat la efectul semiconductoarelor şi pe acel al unor descărcări electrice între electrozi din semiconductoare (Slepian).

Cercetările sovietice s-au dus de către L. I. Ivanov, V. I. Prujinina şi V. P. Savaliev în Institutul Electrotehnic Unional, rezultînd din aşa numitul carborund electrotehnic materialul semiconductor denumit vilit.

Vilitul fabricat în URSS are următoarele constante:

$$C = 650\ldots 750\,\Omega\,A^{1-\alpha}$$
$$\alpha = 0{,}16\ldots 0{,}23 \qquad (45.1)$$

Valoarea cea mai mare a coeficientului de conductivitate C şi cea mai mică a exponentului de neliniaritate α sînt cele mai favorabile. Ele nu se pot îmbunătăţi uşor simultan deoarece, deobicei, odată cu mărirea conductivităţii, scade neliniaritatea şi invers. De aceea în fabricarea rezistenţelor se face practic un compromis şi se păstrează limite suficient de largi ale parametrilor.

Rezistenţelor neliniare pentru descărcătoare li se dă, prin presarea pulberii de carborund cu o presiune de cel puţin 10 at, forma de discuri cilindrice cu diametrul de 50—150 mm şi înălţimea de 10—80 mm. În descărcătoarele sovietice se utilizează discuri cu diametre de 57 şi 100 mm şi o înălţime de 20 mm.

Capacitatea de scurgere a discurilor creşte cu presiunea aplicată în procesul de fabricaţie, mai ales la valori mici ale presiunii.

După coacere, discurile se metalizează pe părţile frontale prin suflarea cu pistolul a unui strat de cupru, aluminiu sau zinc, apoi se acoperă pe părţile laterale cu un chit izolant. Discurile se supun apoi unor probe de formare, cu ajutorul unor impulsuri de curent. Se înregistrează cu osciloscopul sau cu oscilograful catodic caracteristica tensiune-curent şi se stabileşte valoarea coeficientului C şi a exponentului α. Discurile se ordonează după aceste valori, într-un descărcător urmînd a se introduce numai discuri cu caracteristici foarte apropiate spre a obţine o repartizare cît mai uniformă a potenţialului şi a avea solicitări egale la tensiune.

Legarea în paralel a rezistenţelor pentru a acoperi domeniul curenţilor mari nu este indicată, deoarece repartizarea curenţilor nu se poate uniformiza.

Sarcina pe disc creşte cu gradientul de tensiune, densitatea de curent şi cu timpul. La suprasarcini apar conturnări şi străpungeri. Suprafeţele frontale se atacă dacă la impuls intensitatea cîmpului trece de valori de 5—10 kV/cm. La curenţi mari de impuls discurile se încălzesc şi rezistenţa scade datorită coeficientului de temperatură negativ.

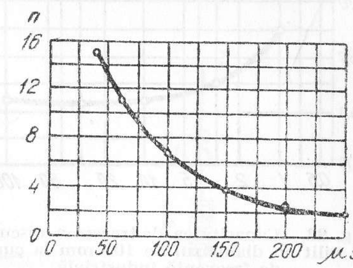


Fig. 81. — Numărul de impulsuri de curent de 5 kA_{max} suportat de un disc de vilit cu diametrul de 100 mm în funcţie de durata impulsului.

S-a constatat din experienţe de laborator şi din exploatare că discurile au o capacitate limitată de a permite trecerea unor impulsuri de curent. Cantitatea de electricitate care poate trece în total prin disc tinde spre o limită. În diagrama fig. 81 se vede că numărul de impulsuri de curent suportate pînă la distrugere scade de la 15 la 2 cînd durata impulsurilor creşte de la 40 la 250 μs.

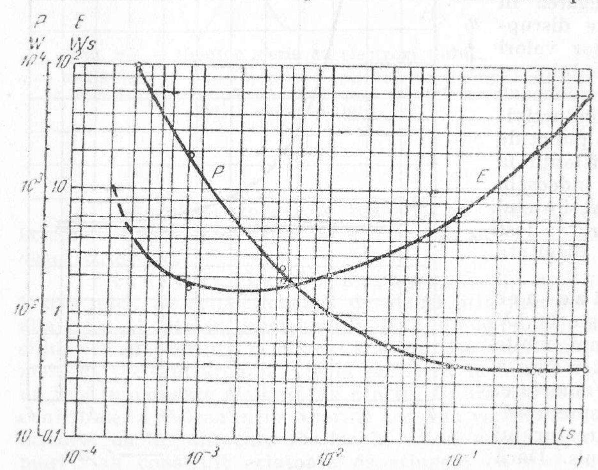


Fig. 82. — Puterea P şi energia E de distrugere a discurilor de vilit cu diametrul de 100 mm la un singur impuls.

Explicaţia se dă prin faptul că orice trecere a curentului prin discurile de rezistenţă variabilă provoacă în aceasta modificări permanente. Acumularea treptată a acestora duce în cele din urmă la defectarea descărcătorului.

În diagrama fig. 82 s-a reprezentat variaţia puterii P şi a energiei E necesare pentru distrugerea discurilor, cu diametrul de 100 mm, în funcţie de durata aplicării impulsului. Puterea scade cînd durata creşte. La valori ale puterii sub 40 W durata

admisibilă a aplicării creşte rapid. Energia necesară distrugerii are un minim în jurul duratei de aproximativ 2 ms.

Capacitatea discurilor de a conduce curenţii de însoţire este indicată în fig. 83.

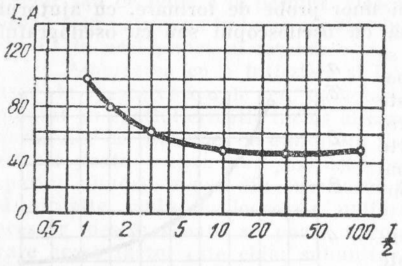


Fig. 83. – Capacitatea de trecere a discurilor de vilit cu diametrul de 100 mm la curenţi de frecvenţă industrială.

Rezistenţele neliniare avînd rolul de a contribui la limitarea curentului de însoţire la valori sub 50 A, rezultă că numărul discurilor legate în serie, deci şi înălţimea descărcătorului creşte cu tensiunea nominală.

Există rezistenţe variabile care nu au forma unor discuri. Carborundul se poate dispune în descărcătoare şi sub forma unei pulberi cristaline. Există rezistenţe variabile care au forma unor blocuri poroase din materiale asemănătoare silitului.

Întregul proces de fabricaţie a rezistenţelor variabile cere o atenţie, pricepere şi grijă deosebită spre a obţine descărcătoare de bună calitate şi avînd caracteristici determinate.

β) *Eclatoarele* unui descărcător au, după cum s-a arătat, o dublă funcţiune:

– amorsarea descărcării la supratensiuni de impuls care întrec o anumită limită;

– contribuţie la stingerea arcului curentului de însoţire.

Prima condiţie se realizează prin atribuirea unor forme speciale eclatoarelor spre a le apropia de forme cu cîmp uniform, a doua, prin legarea în serie a mai multor distanţe disruptive mici şi admiterea unor valori ridicate a intensităţii cîmpului.

Eclatoarele se confecţionează din materiale cu o mare conductivitate calorică şi electrică, un punct de topire înalt şi o mare rezistenţă la coroziune. Se utilizează îndeosebi cuprul (alama, aliajele Cu-Al şi oţelul acoperit cu un strat de cupru au fost utilizate dar nu au dat rezultate satisfăcătoare).

E c l a t o r u l d e i z o l a r e se introduce la tensiuni peste 60 kV şi se execută în cele mai multe cazuri din calote semisferice spre a se evita întîrzierea la amorsare. Acest eclator este necesar spre a asigura o amorsare a descărcătorului numai la tensiuni de impuls. Dacă în cazul aplicării unor tensiuni de impuls, prin măsuri constructive se reuşeşte a se realiza un cîmp uniform la eclatorul de izolare, atunci întîrzierea dispare pînă la durata sub 10^{-8} s şi factorul de impuls devine unitar (fig. 84).

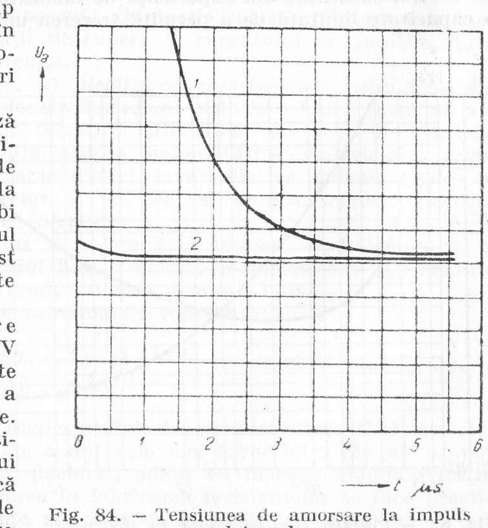


Fig. 84. – Tensiunea de amorsare la impuls a eclatoarelor: 1 – cu tije; 2 – cu sfere.

Există numeroase posibilităţi constructive pentru scăderea factorului de impuls. O soluţie se arată în fig. 85. Electrodul are forma unei ciuperci şi este compus din două părţi, una centrală şi una exterioară, legate între ele printr-o rezistenţă. La aplicarea unui impuls de tensiune între cele două părţi, apare, datorită rezistenţei, o diferenţă de potenţial, care provoacă o scurtă descărcare pe partea frontală a electrodului, introducînd astfel cu o întîrziere minimă descărcarea între cei doi electroni principali.

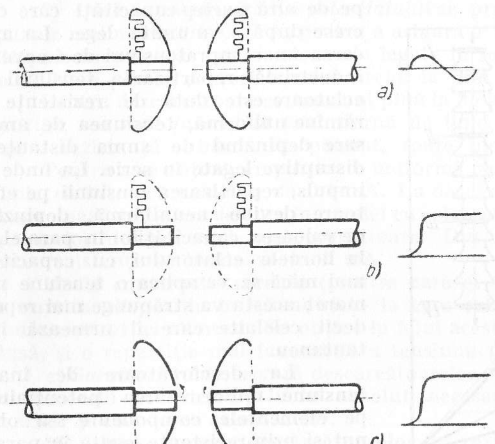


Fig. 85. – Eclator sferic cu electrozi dubli: a – la 50 Hz; b – la începutul aplicării unui impuls; c – la impuls, după trecerea unei scîntei între părţile electrodului.

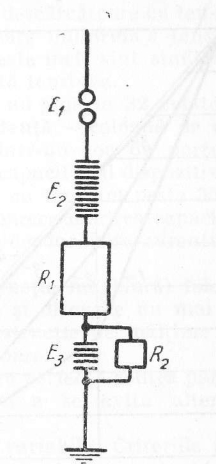


Fig. 86. – Schema unui descărcător cu stingere în cascadă: E_1 – eclator de izolare; E_2 – eclator multiplu de stingere; R_1 – coloană de rezistenţă variabilă; E_3 – eclator multiplu de stingere; R_2 rezistenţă variabilă.

Eclatorul de izolare se dispune cît mai aproape de borna care se leagă la conductorul activ, spre a scoate de sub tensiune toate celelalte părţi ale descărcătorului.

E c l a t o a r e l e d e s t i n g e r e sînt multiple şi au distanţe disruptive foarte mici. Se confecţionează de obicei prin presare din tablă de cupru, alamă, aliaje Cu-Al, etc. (ultimele materiale fiind mai puţin indicate). Formele au o simetrie cilindrică şi prezintă o mare varietate. La unele, suprafaţa, pe care apare şi se menţine piciorul arcului este la periferie, la altele în centru, în fine la altele pe un inel la oarecare distanţă de centru. Gaura centrală prin eclatoarele de stingere contribuie la răcirea picioarelor de arc şi la ventilarea spaţiilor ionizate, fără a mări factorul de impuls, care rămîne la valori apropiate de unitate. Pentru solicitări mari s-au construit eclatoare de stingere cu mai multe distanţe disruptive în paralel şi s-au găsit scheme speciale ca cea din fig. 86, la care valoarea tensiunii reziduale se reduce prin amorsarea în cascadă a eclatoarelor de stingere E_2 şi E_3.

Stingerea are loc tot în cascadă începînd cu E_3, după care R_2 intră în circuit şi strangulează curentul de însoţire. Prin forme constructive bine studiate şi tratamente superficiale adecuate, s-a ajuns la o mare rezistenţă a suprafeţelor active faţă de acţiunea piciorului arcului.

Factorul de impuls se menţine aproape de unitate prin uniformizarea cîmpului, atît la fiecare eclator (apropierea de forme cu cîmp omogen) cît şi pe întreaga coloană de eclatoare, cu ajutorul unor mijloace speciale ca: gradarea capacităţii eclatoarelor (fig. 87) electrozi suplimentari, rezistenţe în paralel sau combinaţii de rezistenţe şi capacităţi legate în paralel. Aceste rezistenţe sînt de cele mai multe ori confecţionate din semiconductoare.

S-au obţinut valori subunitare (pînă la 0,6) ale factorului de impuls în felul următor: în paralel cu eclatoarele se leagă pe de o parte rezistenţe egale, pe de altă parte capacităţi care descresc după o anumită lege. La aplicarea unor supratensiuni de frecvenţă industrială repartizarea tensiunii pe eclatoare este dată de rezistenţe şi rămîne uniformă, tensiunea de amorsare depinzînd de suma distanţelor disruptive legate în serie. La unde de impuls, repartizarea tensiunii pe eclatoare devine neuniformă, depinzînd de valoarea capacităţilor în paralel, şi la bornele eclatorului cu capacitate mai mică se va aplica o tensiune mai mare; acesta va străpunge mai repede decît celelalte care îl urmează instantaneu.

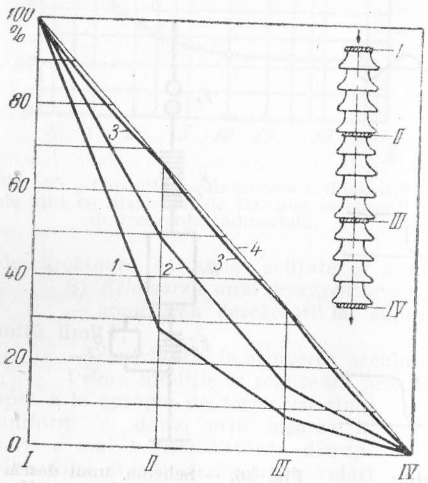


Fig. 87. — Repartizarea potenţialului pe un descărcător din trei elemente:
1 — repartizarea naturală; 2 — repartizare ameliorată prin adoptarea unor capacităţi corespunzătoare ale eclatoarelor; 3 — repartizare ameliorată prin inele de ecranare; 4 — repartizare liniară.

La descărcătoare de înaltă tensiune uniformizarea potenţialului pe elementele componente s-a obţinut şi prin rezistenţe legate în paralel sub forma unor emailuri semiconductoare dispuse pe suprafaţa exterioară a izolatorului. Se obţine prin aceasta în deosebi o reducere a influenţei defavorabile pe care o au depunerile de praf şi umiditate pe carcasa de porţelan, asupra tensiunii de amorsare a descărcătorului. Curentul de fugă maxim admisibil este de 1 mA.

Aplicarea mijloacelor de uniformizare a cîmpului este cu atît mai necesară cu cît tensiunea nominală şi curentul de însoţire sînt mai mari. Există construcţii recente la care eclatoarele sînt în măsură a stinge curenţi de 200 A.

γ) *Izolatorul de porţelan* trebuie să aibă o formă potrivită pentru a cuprinde şi a închide în mod ermetic elementele descărcătorului precum şi pentru a-i conferi o tensiune reglementară de conturnare la impuls sub ploaie. Pentru a rezista la presiunile interioare de ordinul a sutelor de atmosfere care pot să apară în interior în caz de defectare a descărcătorului, se aleg izolatoare cu pereţi groşi masivi. Deoarece presiunea internă depinde de cantitatea de electricitate scursă, iar capacitatea de scurgere este limitată, există o mică probabilitate ca izolatorul să nu reziste presiunilor interne. Pentru a nu expune tubul de porţelan spargerii, se prevăd dispozitive de siguranţă care stabilesc o legătură cu atmosfera în cazul cînd rezistenţa porţelanului ar fi întrecută. Astfel de dispozitive pot să fie: membrane metalice sau şuruburi de siguranţă, care se rup sub acţiunea presiunii interioare. Descărcătorul rămîne de obicei deschis după funcţionarea dispozitivului de siguranţă. La unele construcţii odată cu fundul tubului se desprinde şi legătura

la pămînt astfel că descărcătorul rămîne şi deschis şi izolat. La tensiuni mai înalte lungimea descărcătorului devine prea mare spre a putea fi cuprins într-o singură carcasă de porţelan. Se construiesc elemente de descărcătoare avînd diferite tensiuni nominale fracţionare şi pe urmă se combină în unităţi de tensiunile cerute.

Izolatoarele de porţelan se prevăd în multe cazuri cu o pătură exterioară semiconductoare care permite, la tensiunea nominală, un curent de fugă de ordinul 1 mA şi contribuie la asigurarea unei repartizări uniforme a potenţialului de-a lungul coloanei descărcătorului.

δ) *Inele de uniformizare a potenţialului* se prevăd la descărcătoare cu tensiuni nominale mai mari de 100 kVA, pentru a asigura o repartizare uniformă a tensiunii de impuls asupra mai multor elemente legate în serie. Aceste inele sînt similare cu cele utilizate pentru protecţia izolatoarelor la linii de înaltă tensiune.

Pentru descărcătoare cu tensiuni pînă la 35 kV, care au pînă la 32 eclatoare, *dispoziţia cea mai favorabilă este*: bornă de linie — rezistenţă — coloană de eclatoare — rezistenţă — bornă de pămînt, toate montate într-un toc de porţelan.

Pentru a se obţine o repartizare uniformă curentul capacitiv al dispozitivului trebuie să întreacă valoarea de 0,1 mA. La descărcătoare cu tensiuni peste 35 kV se conectează adese arezistenţe în paralel cu eclatoarele, deoarece mărirea capacităţii eclatoarelor devine mult mai costisitoare. Din motive de încălzire curentul în aceste rezistenţe se limitează la 1 mA.

Unele construcţii recente (printre care şi o construcţie maghiară) folosesc aşa numita dispoziţie în «Sandwich» la care eclatoarele şi discurile nu mai sînt dispuse separat, ci alternat. Se obţine în felul acesta o construcţie de înălţime mai redusă, şi o repartiţie mai favorabilă a tensiunii pe eclatoare.

ε) *Garnituri* duble asigură descărcătoarelor o etanşare perfectă contra pătrunderii umezelii în interior, lucru absolut necesar pentru a se evita alterarea discurilor şi corodarea eclatoarelor.

46. **Dimensionarea descărcătoarelor cu rezistenţă variabilă.** Criteriile principale pentru proiectare sînt înainte de toate datele nominale: tensiunea nominală, capacitatea de scurgere nominală, tensiunea de amorsare la impuls, factorul de impuls, tensiunea reziduală la curentul de scurgere nominal, exponentul de neliniaritate etc. Urmează condiţiile impuse de reţeaua respectivă, de instalaţia de protejat, locul instalării, tratarea neutrului etc.

α) Curentul de scurgere maxim se poate calcula aproximativ din amplitudinea tensiunii undei U, din tensiunea reziduală U_r şi impedanţa de undă a liniei Z (500 Ω la linii aeriene). Tensiunea undei incidente de obicei limitată de tensiunea de conturnare la impuls a izolatoarelor liniei.

La amorsarea unui singur descărcător, pe o fază, curentul de scurgere maxim este dat de relaţia

$$I_s = \frac{2U - nU_r}{Z} \ [\mathrm{A}] \tag{46.1}$$

în care:

n este numărul de linii care abutisează în staţie (în staţii de cap $n=1$, în staţii de trecere $n=2$.

Curenţii care corespund unor unde de 0,5/50 µs nu depăşesc în general 2 kA. Totuşi la lovituri directe apropiate ale trăsnetului sau la conturnări inverse apropiate, prin reflexii repetate a undelor de curent între arc şi descărcător, curentul se poate multiplica. Tendinţa actuală este totuşi de a limita puterea nominală de scurgere a descărcătoarelor la 5 şi 10 kA, şi a evita lovituri directe de trăsnet în vecinătatea imediată a staţiilor, protejînd liniile, pe o anumită porţiune cu conductoare de protecţie.

β) *Rezistenţele variabile* reprezintă obiectivele principale ale calculului de dimensionare electrică. Avînd la dispoziţie discuri cu dimensiuni şi caracteristici date, trebuie să se deducă numărul lor.

Pentru un raport $U/U_n = 25$ se realizează $I_{max}/I_n = 10^7$ la cel mai bun material disponibil. Rezistenţe fără eclatoare se pot întrebuinţa din acest motiv pînă la 500 V, la tensiuni mai mari prevăzîndu-se eclatoare în serie.

Numărul de discuri cu rezistenţă variabilă legate în serie se calculează presupunînd caracteristice egale la toate discurile unui element de descărcător.

Presupunînd valori identice ale coeficientului C şi al exponentului α relaţia (43.1) se poate scrie:

$$U_r = I^{\alpha} \sum_{1}^{n} C = nCI^{\alpha}. \tag{46.2}$$

Numărul discurilor este atunci:

$$n = \frac{U_r}{CI^{\alpha}} \tag{46.3}$$

unde I reprezintă curentul de scurgere nominal (3,5 sau 10 kA după tipul şi destinaţia descărcătorului). După alegerea numărului discurilor se controlează cu ajutorul relaţiei (46.2) dacă tensiunea reziduală U_r la curentul de scurgere nominal corespunde condiţiilor impuse.

γ) *Numărul eclatoarelor de stingere* se deduce simplu din valoarea tensiunii de amorsare la frecvenţa industrială $U_{a_{50}}$. Se alege o distanţă disruptivă potrivită (între 0,4 şi 0,6 mm) căruia îi corespunde o tensiune de amorsare U_{al} şi numărul eclatoarelor rezultă din relaţia:

$$n_e = \frac{U_{a50}}{U_{al}} \tag{46.4}$$

Spre a obţine cît mai precis tensiunea de amorsare cerută, se poate ajusta distanţa disruptivă în mod corespunzător.

Relaţia între distanţa disruptivă şi tensiunea de amorsare nu este liniară şi trebuie dedusă experimental.

Se obişnuieste a se utiliza eclatoare în serie avînd o tensiune de 1,5–3 kV pe element, în unităţi de cel puţin 4–7 elemente, spre a se asigura stingerea sigură a arcului. Eclatoarele nu sting în general curenţi de însoţire mai mari de 100 A.

δ) *Curentul de însoţire* care rezultă este dat tot de relaţia (46.2) sub forma:

$$I = \left(\frac{U}{nC}\right)^{\frac{1}{\alpha}}. \tag{46.5}$$

Drept U se introduce amplitudinea tensiunii maxime de exploatare care conform normelor se presupune:

$$U = 1{,}15 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{nr} \tag{46.6}$$

în care:

U_{nr} este tensiunea nominală a reţelei respective.

ε) *Rezistenţa mecanică* devine o problemă de dimensionare, mai ales la tensiuni înalte. Înălţimea descărcătoarelor de 110 respectiv 220 kV, întrecînd 4 respectiv 6 m, trebuie să se controleze rezistenţa coloanei la presiunea vîntului şi la polei, mai ales în cazul cînd descărcătoarele se sprijină pe baza lor. Forţele exterioare se consideră cele date de normele pentru ipotezele de calcul a liniilor aeriene STAS

R 1832-50 şi 1953-50. Elementele componente ale descărcătoarelor sovietice au baze cu diametre de ordinul a 250 mm. Chiar dacă pînă la tensiuni de 60–80 kV se pot adăoga baze suplimentare în formă de postamente de oţel sau fontă cu diametre pînă la 600 mm, la descărcătoare de 100 kV şi mai mult trebuie să se prevadă construcţii speciale de consolidare, deoarece în ipoteza unui vînt de furtună forţa rezultantă ar solicita porţelanul la îndoire aproape de limita admisă (100 kg/cm²).

Se prevăd din această cauză măsuri pentru a elibera porţelanul de aceste eforturi. La coloane de descărcătoare care stau pe baza lor, se poate prevedea o articulaţie a coloanei pe postament iar eforturile laterale să fie preluate de trei tiranţi elastici cu arcuri dispuşi simetric. Aceşti tiranţi se fixează pe o bază cu un diametru de cel puţin 3 m la 110 kV şi de cel puţin 4 m la 220 kV. Capacele metalice ale elementelor descărcătorului permit o fixare uşoară a punctului de atac al tiranţilor, care se alege în jumătatea superioară a coloanei.

Descărcătoarele se pot suspenda spre a le sustrage de sub influenţa presiunii vîntului şi a cutremurelor, dar aceasta presupune, la tensiuni peste 60 kV, construcţii speciale de susţinere (de exemplu cadrele staţiilor aeriene). (v. fig. 90).

47. Tipuri de descărcătoare cu caracteristică neliniară. α) *Tipul sovietic RVP* pentru substaţii (fig. 88) se fabrică pentru tensiuni nominale de 3; 6 şi 10 kV; are o

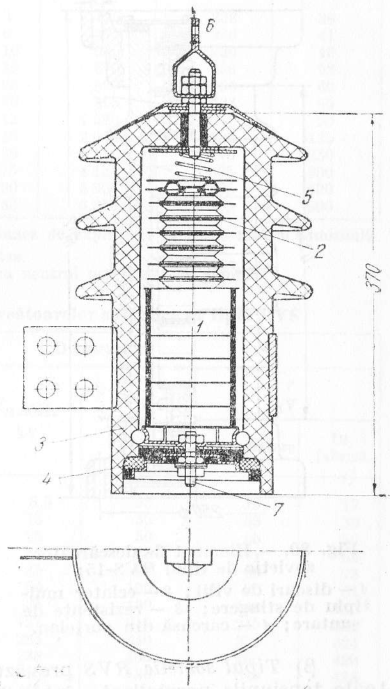


Fig. 88. — Descărcător sovietic cu vilit de tipul RVP de 6 kV:
1 — discuri din vilit; *2* — eclator multiplu de stingere; *3* — carcasă din porţelan; *4* — garnitură de etanşare; *5* — arc de presarea coloanei; *6* — bornă de linie; *7* — bornă pentru legătură la pămînt.

Tabela 18. Dimensiunile de gabarit ale descărcătoarelor sovietice de tipul RVP

Tip	Înălţime h mm	Diametru d mm	Greutate G kg
RVP–3	340	190	8
RVP–6	450	190	11
RVP–10	590	190	16

Tabela 19. Caracteristicile electrice ale descărcătoarelor sovietice de tipul RVP

Tip	U_n kV	$U_{s\,max}$*) kV	U_{a50} kV	U_a (1,5 şi 3 kA) kV_{max}
RVP–3	3	3,8	8,5	25,0
RVP–6	6	7,6	16,0	35,0
RVP–10	10	12,8	25,0	50.0

*) $U_{s\,max}$ = tensiunea de serviciu maximă admisă în locul de montare.

construcţie simetrică şi se distinge prin lipsa eclatorului de izolare şi a rezistenţelor de uniformizare a potenţialului.

Dimensiunile şi caracteristicile acestui tip de descărcător sînt cuprinse în tabelele 18 şi 19.

Capacitatea de scurgere nominală este de 3 kA. Destinaţia: protecţia substaţiilor şi posturilor de transformare în reţele de distribuţie.

Fixarea în instalaţii se poate face prin suspensie de borna superioară sau cu ajutorul unei brăţări cu 4 buloane M12.

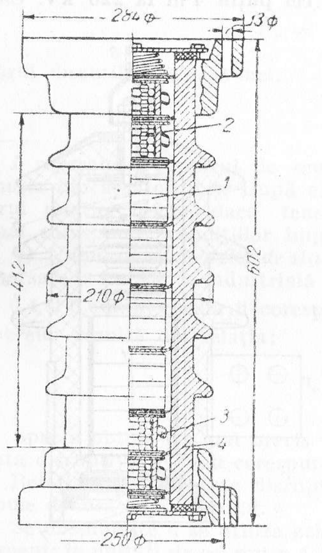


Fig. 89. — Element de descărcător sovietic de tipul RVS-15:
1 — discuri de vilit; 2 — eclator multiplu de stingere; 3 — rezistenţe de şuntare; 4 — carcasă din porţelan.

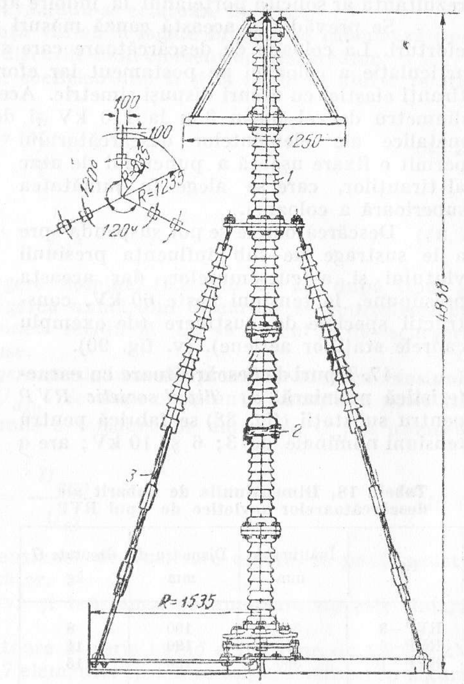


Fig. 90. — Descărcător sovietic de tipul RVS de 220 kV:
1 — coloană din 8 elemente de 30 kV; 2 — inele de uniformizare a porţelanului; 3 — tiranţi elastici pentru preluarea forţelor laterale.

β) *Tipul sovietic RVS* prevăzut pentru protecţia staţiilor se fabrică pentru toate tensiunile normalizate între 3 şi 220 kV, inclusiv variante pentru reţele de 110 kV cu neutrul izolat şi pus la pămînt. Ceea ce distinge acest tip faţă de tipul RVP este aplicarea unor rezistenţe de şuntare a eclatoarelor, şi faptul că prin combinarea elementelor de 15; 20 şi 30 kV se pot realiza descărcătoare pentru întreaga gamă de tensiuni pînă la 220 kV. Dimensiunile şi compunerea din elemente a descărcătoarelor de tensiuni mai înalte se dau în tabela 20. O secţiune printr-un element de 15 kV, fără capace, se arată în fig. 89. Caracteristicile electrice ale descărcătoarelor de tipul RVS sînt date în tabela 21.

La tipul de 110 kV pentru reţele cu neutrul izolat şi tipul de 220 kV se aplică şi inele exterioare de uniformizare a repartizării potenţialului. (fig. 90).

γ) *Tipul sovietic RVVM* este prevăzut pentru protecţia maşinilor rotative şi are calităţi protectoare deosebite. Scara de tensiuni este aceeaşi ca la tipul

de distribuţie RVP, dar tensiunile de amorsare şi cea reziduală sînt mult mai joase. Pentru uniformizarea potenţialului şi obţinerea unui factor de impuls favorabil se utilizează, în afară de rezistenţe, condensatoare legate în paralel cu eclatoarele de stingere. Dispoziţia interioară este simetrică. Caracteristicile electrice sînt date în tabela 22.

Tabela 20. Dimensiunile descărcătoarelor sovietice cu vilit de tipul RVS

Tip	U_n kV	U_{max} kV	$n \times U_n$ kV	H mm	R mm	G kg
RVS – 3	3	3,8	1×3	425	236	38
RVS – 6	6	7,6	1×6	475	236	41
RVS – 10	10	12,8	1×10	545	236	46
RVS – 15	15	21	1×15	670	236	52
RVS – 20	20	25	1×20	820	236	60
RVS – 30	—	24	1×30	865	236	85
RVS – 35	35	42	2×15	1 320	236	90
RVS – 60	60	71	2×20+1×15	2 080	236	125
RVS – 110*	110	96	4×30	3 130	275	230
RVS – 110	110	132	2×20+4×15	4 125	1 535	300
RVS – 154*	154	144	6×30	4 800	1 535	600
RVS – 220*	220	192	8×30	6 350	2 035	900

Notaţii: U_n — tensiunea nominală; U_{max} — tensiunea de exploatare la borne maxim admisibilă H — înălţimea; R — raza exterioară a bazei; G — greutatea.

Observaţie: Tipurile cu asterisc se referă la reţele cu neutrul pus direct la pămînt.

Tabela 21. Caracteristicile electrice ale descărcătoarelor sovietice de tipul RVS

Descărcător Tip	Reţea U_n neutru izolat kV	Reţea U_n neutru la pămînt kV	Descărcător U_{max} kV	U_n kV	U_a 50Hz kV	U_a 1,5/40 µs kV_{max}	U_r kV în exploatare	U_r kV în fabrică
RVS – 3	3	—	3,8	3	8,5	25	19	17
RVS – 6	6	—	7,6	6	16	35	33	30
RVS – 10	10	—	12,8	10	25	50	55	50
RVS – 15	15	—	21	15	37	75	71	65
RVS – 20	20	—	25	20	45	85	86	78
Element de 30 kV	—	—	24	30	56	120	90	81
RVS – 35	35	—	42	35	75	130	140	130
RVS – 60	60	—	71	60	127	215	245	221
RVS – 110*	—	110	96	110	224	340	360	324
RVS – 110	110	—	132	110	238	405	460	420
RVS – 154*	—	154	144	154	315	480	540	486
RVS – 220*	—	220	192	220	445	680	720	650

Observaţie: Tipurile cu asterisc se referă la reţele cu neutrul pus direct la pămînt.

Tabela 22. Caracteristicile şi dimensiunile de gabarit ale descărcătoarelor sovietice de tipul RVVM

Tip	U_n kV	$U_{r\,max}$ kV	$U_{a\,50}$ kV	U_a (1–10 µs, 3 kA) kV_{max}	h mm	d mm	g kg
RVVM – 3	3	3,8	7,5	12	475	430	40,2
RVVM – 6	6	7,6	15	23	545	430	45,2
RVVM – 10	10	12,8	24	38	670	430	52,0

δ) *Descărcătoarele catodice şi autovalvele* au construcţii similare. Ele se construiesc pentru toate tensiunile, au o capacitate de scurgere nominală de 5 sau 10 kA şi un raport de protecţie de 2,1. La creşterea curentului de la 1,5 la 10 kA (cu 580 %) tensiunea creşte numai cu 30 %. Curentul de însoţire se strangulează de către dispozitivele avînd rezistenţă variabilă la numai 20–60 A, putînd fi întrerupt uşor de către eclatoarele de stingere. Eclatorul de izolare amorsează la o supratensiune cuprinsă

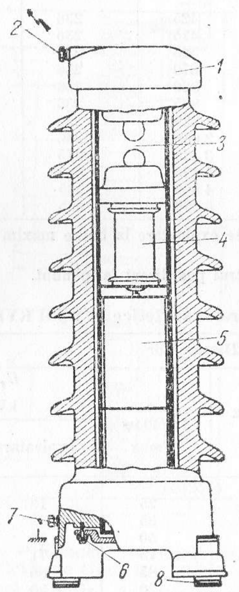


Fig. 91. — Descărcător catodic de 40 kV:
1—capac; *2*—bornă de linie; *3* — eclator sferic cu electrozi dubli (v. fig. 85); *4*— eclator multiplu de stingere; *5*—bloc din discuri semiconductoare cu spaţii disruptive; *6*—şurub de siguranţă la explozie; *7* — bornă de pămînt; *8*—picioare de izolare.

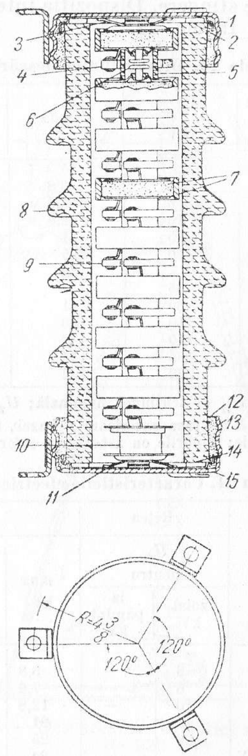


Fig. 92. — Element de descărcător cu tirit, de 12 kV:
1 — capac superior; *2* — garnitură de etanşare; *3* — arc; *4* — rezistenţe de şuntare şi ecranare din tirit; *5* — distanţier din porţelan; *6* — eclator; *7* — disc din tirit cu izolant ceramic lateral; *8* — carcasă din porţelan; *9* — eclator şuntat de rezistenţă cu tirit; *10* — distanţier; *11* — arc; *12* — ciment; *13* — capac inferior; *14* — garnitură de etanşare; *15* — orificiu de drenaj.

între 1,25 şi 1,5 ori tensiunea nominală. La depăşirea limitei de 2,5 U_n străpunge şi eclatorul de stingere. Etanşarea elementelor componente este dublă: pe de o parte eclatoarele sînt dispuse în cilindri de porţelan ermetic închişi, pe de altă parte întreaga carcasă de porţelan se etanşează faţă de atmosferă prin garnituri.

Există tipuri de distribuţie, avînd o construcţie mai uşoară, şi tipuri pentru staţii, cu caracteristici mai favorabile (fig. 91).

ε) *Descărcătoarele cu tirit* se construiesc pentru toate tensiunile cu o capacitate de scurgere de 5 sau 10 kA. Forma şi construcţia unui element de descărcător cu tirit se poate vedea din fig. 92.

ζ) *Descărcătoare cu rezistenţă variabilă* de foarte bună calitate se construiesc în RPU de către fabrica Ganz. În fig. 93 se vede forma şi se dau dimensiunile unui descărcător de 60 kV cu următoarele date:

$$I_{nsc} = 10\text{ kA},\quad U_{a50} = 240\text{ kV},\quad U_{a\,1/50\mu s} = 206\text{ kV}$$

$$U_r = 206\text{ kV},\quad G = 90\text{ kg}.$$

Factorul de impuls este de:

$$f_i = \frac{206}{\sqrt{2}\cdot 240} = 0{,}606$$

deci foarte favorabil. Acest rezultat s-a atins cu ajutorul unor condensatoare şi rezistenţe de şuntare, montate în paralel cu eclatoarele, după principiul amintit la § 45 β.

η) *Descărcătoare cu rezistenţă variabilă* s-au construit şi în RP Polonă. Discurile cu rezistenţe variabile au fost înlocuite în unele tipuri cu pulbere cristalină din carbură de siliciu, obţinută după un procedeu brevetat. Caracteristicile electrice sînt favorabile, dar aparatul nu a părăsit încă stadiul experimental.

θ) *Descărcătoare cu bobiţe din peroxid de plumb* există încă în reţele şi se mai construiesc de către unele fabrici. Bobiţele au raze de 2–6 mm, sînt din plumb şi acoperite cu un strat de litargă. Din punct de vedere calitativ au fost depăşite de cele bazate pe carborund, mai ales din cauza capacităţii de scurgere mult mai mare ca la cele din urmă.

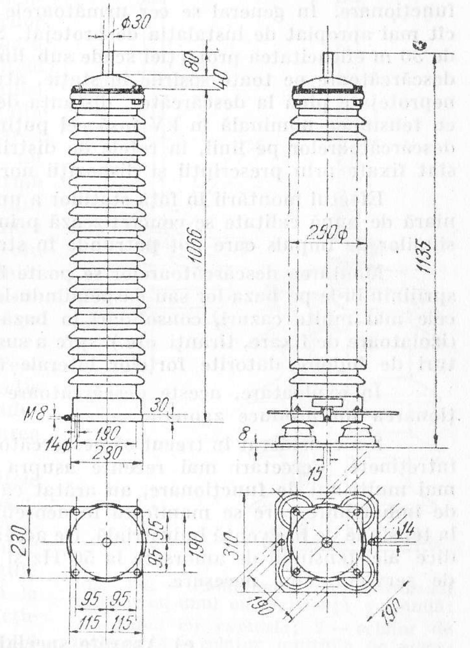


Fig. 93. — Descărcător cu rezistenţă variabilă de 60 kV fabricaţia Ganz, R.P.U.

48. **Utilizarea şi montarea descărcătoarelor cu caracteristică neliniară.** Alegerea descărcătoarelor se face pe baza următoarelor date: caracteristica de amorsare la impuls, tensiunea nominală, tensiunea maximă de exploatare şi felul tratării neutrului reţelei.

În reţele cu neutrul izolat tensiunea nominală a descărcătorului se alege cel puţin egală cu tensiunea maximă de exploatare între faze (descărcătoare 100 %).

În reţelele cu neutrul pus la pămînt dimensionarea descărcătoarelor depinde de mulţi parametri. Sisteme « stinse » cu bobine Petersen se tratează ca sisteme cu neutrul izolat (descărcătoare 100 %). Dacă impedanţa punerii la pămînt este redusă, se pot întrebuinţa descărcătoare cu tensiune nominală mai mică decît cea a reţelei. De exemplu, dacă tensiunile dinamice faţă de pămînt sînt limitate la 80 % din tensiunea între faze, se pot întrebuinţa descărcătoare cu 80 % din tensiunea reţelei.

Dacă $X_0/X_1 < 3$ şi $R_0/X_1 < 1$ (indicii 0 şi 1 se referă la sistemul omopolar şi direct), se pot aplica descărcătoare cu tensiunea nominală de 80 %, punerea la pămînt fiind suficient de bună pentru a împiedica supratensiuni de punere la pămînt prea mari.

În sistemele de distribuţie cu 4 conductoare se pot introduce şi descărcătoare cu tensiunea de 75 %.

Nivelele de izolaţie în reţele se pot reduce în funcţie de alegerea tensiunii şi tipului de descărcător.

Locul şi felul montării descărcătoarelor este foarte important pentru o bună funcţionare. În general se cer următoarele condiţii: locul montării trebuie să fie cît mai apropiat de instalaţia de protejat. Se consideră că la o distanţă mai mare de 30 m eficacitatea protecţiei scade sub limita admisibilă. Dacă nu se montează descărcătoare pe toate sosirile în staţie, atunci pentru unde care pătrund pe linii neprotejate pînă la descărcător, distanţa de protecţie admisibilă (în m) este egală cu tensiunea nominală în kV însă cel puţin cu 25 m. Regulile pentru dispunerea descărcătoarelor pe linii, în reţele de distribuţie, în faţa şi în interiorul staţiilor sînt fixate prin prescripţii şi dispoziţii normative.

Efectul montării în faţa staţiilor a unor descărcătoare cu caracteristică neliniară de bună calitate se concretizează printr-o reducere considerabilă a supratensiunilor de impuls care pot pătrunde în staţie.

Montarea descărcătoarelor se poate face în poziţie verticală, în două feluri: sprijinindu-le pe baza lor sau suspendîndu-le. La tensiuni peste 60 kV se prevăd, în cele mai multe cazuri, consolidări la bază (postamente suplimentare) şi laterale (izolatoare de fixare, tiranţi etc.), spre a sustrage carcasele de porţelan de sub eforturi de îndoire datorite forţelor laterale (vînt, polei etc.).

În exploatare, aceste descărcătoare se comportă foarte satisfăcător. Funcţionarea nu produce zgomot.

S-a considerat în trecut că descărcătoarele cu rezistenţă variabilă nu necesită întreţinere. Cercetări mai recente asupra descărcătoarelor defectate sau avînd mai mulţi ani de funcţionare, au arătat că ele sînt supuse unui proces complex de îmbătrînire care se manifestă în deosebi prin reducerea tensiunii de amorsare la tensiune de frecvenţă industrială. De aceea, se consideră astăzi că verificări periodice ale tensiunii de amorsare la 50 Hz şi ale curentului de scurgere la tensiunea de serviciu, sînt necesare.

c) Aparate speciale de protecţie

49. **Condensatoare şi cabluri.** α) *Condensatorul*, ca aparat de protecţie contra supratensiunilor de impuls, funcţionează ca o impedanţă joasă la pămînt. Cu cît mai mare este capacitatea cu atît efectul se apropie mai mult de acel al unui scurtcircuit. Încărcarea condensatorului sustrage o parte din energia electrică a undei şi scade tensiunea în punctul respectiv. Unda retrogradă poartă, în urma reflexiei, un curent mai mare decît cea incidentă, ceea ce contribuie la amortizarea energiei electromagnetice prin pierderi active în conductori.

Ceea ce caracterizează condensatorul legat în paralel pe linie, este că el nu lasă să treacă undele decît cu o pantă mai mică şi reflectă unda incidentă cu întreaga sa amplitudine. O pierdere de energie nu are loc, condensatorul cedînd în continuare energia înmagazinată din nou liniei. Dacă s-ar lega o rezistenţă în serie cu condensatorul, atunci în primul moment al aplicării unei unde cu pantă mare, condensatorul ar apare ca un scurtcircuit şi tensiunea incidentă se repartizează pe rezis-

tenţă şi pe linia în aval fiind reflectată simultan cu o amplitudine mai mică. Deci în acest caz, panta undei pe linia în aval se păstrează şi se reduce doar amplitudinea supratensiunii.

Dezavantajul condensatoarelor este că ele trebuie să fie izolate la o tensiune mult mai înaltă decît tensiunea nominală a liniei, spre a nu fi străpunse de undele de impuls. Această condiţie scumpeşte condensatoarele de protecţie. Ele apar totuşi în unele scheme combinate de protecţie.

β) *Cablurile* se pot asemăna în efectul lor asupra undelor de impuls cu condensatoarele. Impedanţa de undă a cablurilor este aproximativ a 10-a parte din cea a liniilor aeriene, este deci cuprinsă în limitele 30 – 50 Ω. Orice undă de supratensiune incidentă este scăzută la intrarea din linia aeriană în cablu, la 20 % din valoarea sa iniţială, iar la ieşirea din cablu nu creşte decît cu 80 % din această din urmă valoare, astfel că, un cablu avînd o lungime de cel puţin 50 m, scade tensiunea undei în total la aproximativ 36 % din tensiunea incidentă. În cazul cînd cablul se introduce pînă în staţie, tensiunea rămîne limitată la 20 % şi prin reflexie pe separatoare deschise sau în neutrul transformatoarelor atinge cel mult 40 %. Pentru aceste motive, dispoziţiile de protecţie contra supratensiunilor prevăd introducerea în cabluri a liniilor aeriene la intrarea în staţii.

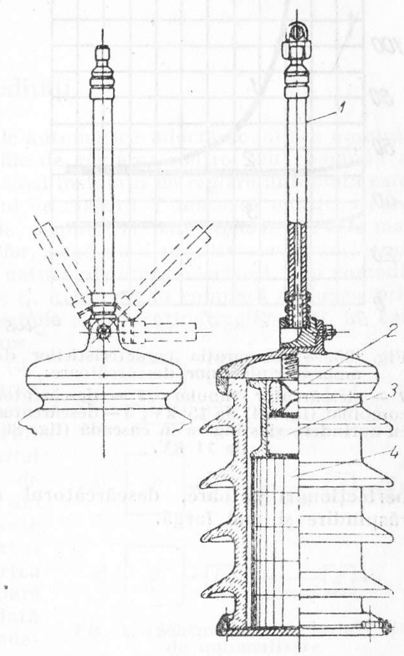


Fig. 94. — Combinarea descărcătorului tubular cu unul cu rezistenţă variabilă: *1* — tubul cu expulsie; *2* — eclator de izolare; *3* — eclator multiplu de amorsare; *4* — coloană de discuri cu rezistenţă variabilă.

50. **Aparate combinate.** Diferitele aparate de protecţie contra supratensiunilor au caracteristici, avantaje şi dezavantaje care nu sînt identice, ci depind de felul şi tipul aparatului. Condiţiile uneori antagoniste pe care trebuie să le îndeplinească un bun aparat de protecţie impun de multe ori combinarea într-un singur complex a mai multor elemente cu sarcini şi funcţionare diferite. În acelaşi sens se caută a se ridica eficacitatea dispozitivelor de protecţie prin combinarea diferitelor aparate de protecţie fie în unităţi noi, fie în complexe în care diferitele aparate îşi păstrează construcţia, dar se conectează împreună cu alte aparate. S-a văzut la § 35 că aparatul Bendmann este o unitate combinată din mai multe elemente: eclatoare, rezistenţe, contactoare. La fel s-a încercat combinarea organică a unor aparate de diferite feluri.

α) *Combinarea de descărcătoare tubulare şi cu rezistenţă variabilă* s-a încercat cu succes, montînd un tub cu expulsie laterală pe capacul unui descărcător cu rezistenţă variabilă, (fig. 94).

Avantajul combinaţiei este că se pot realiza capacităţi de scurgere foarte mari (50 kA); uzura interioară a tubului devine minimă din cauza reducerii curentului de însoţire de către rezistenţa variabilă, la cîteva sute de amperi. Prin măsuri constructive s-a reuşit în acelaşi timp o reducere considerabilă a factorului de îm-

puls. În fig. 95 se compară caracteristicile la impuls ale unui descărcător tubular de 15 kV (1) cu cea a aparatului (2) din fig. 94 şi a unui descărcător cu aprindere şi stingere în cascadă de 11 kV (3) după schema din fig. 86.

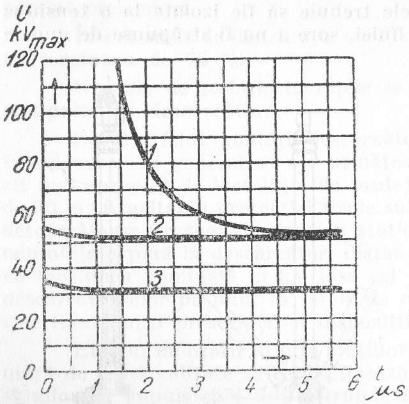


Fig. 95. — Comparaţia caracteristicilor de amorsare ale unor descărcătoare:
1 — descărcător tubular; 2 — descărcător combinat (fig. 94) de 15 kV; 3 — descărcător cu aprindere şi stingere în cascadă (fig. 86) de 11 kV.

β) *Descărcătoare conectate în scheme cunoscute de la filtre* aparţin aceleiaşi categorii de complexe şi s-au construit datorită capacităţii de scurgere foarte mari (50 kA) care a fost atinsă pe această cale (v. § 6). Coloanele acestor descărcătoare au diametre exterioare mai mari, discurile avînd diametre de 200 mm şi mai mult.

γ) *Scheme complexe* comportînd condensatoare, bobine de inductanţă, eclatoare şi descărcătoare în diferite combinaţii asigură o protecţie bună dar cu o cheltuială, un efort şi un spaţiu necesar mult mai mare decît la aparatele cu rezistenţă variabilă. Din aceste motive, aceste complexe au pierdut din importanţă, de cînd în urma perfecţionării descărcătoarelor cu rezistenţă variabilă, instalaţiile se pot dota cu aparate a căror eficacitate este foarte mare, montarea relativ uşoară şi întreţinerea relativ redusă. Se pare că prin perfecţionări viitoare, descărcătorul cu rezistenţă variabilă îşi va asigura o răspîndire şi mai largă.

V. ELEMENTE ELECTRICE ALE INSTALAŢIILOR AUTOMATE ŞI TELEMECANICE

A. Generalităţi

1. **Instalaţiile automatice.** Instalaţiile automatice înlocuiesc munca omului, total sau în cea mai mare parte, în operaţiile de reglare, control sau comandă a proceselor de producţie. Structura tipică a unei instalaţii de reglare automată este arătată în schema bloc din fig. 1 *a*. Organul de măsură *T* măsoară mărimea care urmează a fi reglată în procesul de producţie, denumit *obiectul reglării*. De cele mai multe ori, organul de măsură este un *traductor*, adică un dispozitiv care transformă mărimea de măsurat într-o mărime de altă natură, de obicei electrică, mai comodă pentru acţionarea unei organ de comparaţie *C*. Acest organ compară acţiunea primită cu o valoare dată prealabil, pe care trebuie să o menţină reglarea, şi, în caz de abatere de la această valoare dată, transmite o comandă organului de execuţie (de acţionare) *E* care are rolul de a aduce valoarea mărimii reglate la valoarea dată. O instalaţie de reglare automată cuprinde deci un circuit închis $O - T - C - E - O$, denumit *circuitul de reglare*, în care are loc succesiunea de acţiuni descrisă mai sus. El este format din două părţi principale. Prima parte îndeplineşte funcţiunea de control al mărimii de reglat şi cuprinde obiectul *O*, traductorul *T* şi partea din organul de comparaţie *C* care compară acţiunea primită de la traductor cu valoarea dată prealabil a mărimii de reglat. Partea a doua îndeplineşte funcţiunea de comandă şi cuprinde restul organului de comparaţie *C*, care transmite comanda, organul de execuţie *E* şi obiectul *O*. Se întîlnesc foarte des instalaţii automatice care cuprind numai una din cele două părţi principale de mai sus. Astfel, în schema bloc din fig. 1 *b* este reprezentată o instalaţie de control automat, cuprinzînd numai prima parte a circuitului de reglare. În acest caz partea de comandă din organul de comparaţie acţionează asupra unui dispozitiv de reproducere *R* de exemplu, un aparat de măsură — şi care indică, semnalizează sau înregistrează valoarea mărimii controlate. În acest caz organul de comparaţie nu este prevăzut cu partea de comandă care prin organul de execuţie poate acţiona asupra obiectului *O*. În unele instalaţii de control automat dispozitivul *R* rebutează sau sortează automat produsele. În fig. 1 *c* este reprezentată schema bloc tipică a unei instalaţii de comandă automată cu circuit deschis, instalaţie în care lipseşte funcţiunea de control a procesului de producţie. Declanşarea unei astfel de comenzi automate se poate face manual sau de un dispozitiv automat care aparţine altui proces.

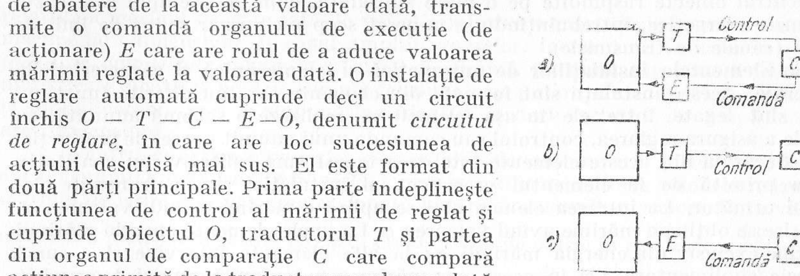


Fig. 1.—Scheme bloc ale instalaţiilor de automatizare.

O categorie specială de instalaţii automate o formează sistemele de protecţie automată, al căror rol este de a întrerupe procesul de producţie atunci cînd apare un regim care depăşeşte limitele fixate pentru acest proces.

2. Instalaţiile telemecanice. În cele expuse s-a presupus că distanţa între obiectul O şi punctul de comparaţie C este mică. Dacă această distanţă este atît de mare încît sînt necesare mijloace speciale pentru a face această legătură (canale de transmisie), atunci sistemele respective se numesc telemecanice (*telereglaj, telecontrol, telecomandă* şi *telemăsură).*

Canalele de transmisie pot fi linii fizice (reale) formate din unul sau doi conductori sau o legătură obţinută prin curenţi purtători pe linie fizică, canal de radio etc. Pentru aceste sisteme, în afară de canalul de transmisie mai sînt necesare dispozitive denumite *transmiţătoare* şi *receptoare.* În fig. 2 este reprezentată schema bloc a unui telecontrol. Rolul transmiţătorului Tr este de a transforma mărimea dată de organul de măsură T într-o mărime electrică, avînd caracteristici potrivite pentru a fi transmisă la distanţă pe linia de legătura. Receptorul Rc transformă mărimea primită de pe linia de legătură într-o mărime electrică convenabilă pentru a acţiona asupra restului instalaţiei. Faţă de acţionarea la distanţă, telemecanica presupune deci o transmisie a acţiunii printr-o transformare în felul descris.

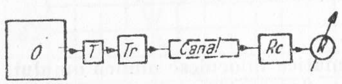


Fig. 2. – Schema bloc a unui telecontrol.

Folosind metodele telemecanicei, se pot regla, controla şi comanda dintr-un punct central obiecte răspîndite pe o mare suprafaţă, cum de exemplu este cazul în sistemele energetice, întrebuinţîndu-se în acest scop un număr redus de linii de legătură (canale de transmisie).

3. Elementele instalaţiilor de automatică şi telemecanică şi caracteristicile lor generale. Aceste instalaţii sînt formate din elemente care au diferite funcţiuni şi care sînt legate între ele în aşa fel încît să realizeze o schemă anumită, cu scopul de a asigura reglarea, controlul sau comanda unui anumit proces de producţie. Sarcina fiecăruia din aceste elemente este de a transforma calitativ sau cantitativ acţiunea primită de la elementul precedent al instalaţiei şi a o transmite elementului următor. La intrarea elementului se aplică o mărime avînd valoarea x, iar la ieşire se obţine o mărime avînd valoarea y. La unele elemente energia mărimii y se obţine exclusiv din energia mărimii x; la alte elemente intervine şi o sursă de energie suplimentară z şi în acest caz mărimea x comandă numai transmisia de energie de la sursa z la mărimea de eşire y. În felul acesta se obţine o amplificare de putere cu ajutorul elementului respectiv, adică se obţine cu o energie de intrare mică a mărimii x, o energie de ieşire mare cuprinsă în mărimea y.

Mărimile x şi y pot fi de natură electrică (curent, tensiune) sau neelectrică (temperatură, deplasare, presiune, viteză etc.). Deşi există instalaţii automatice realizate cu elemente neelectrice, avînd la bază principii mecanice, hidraulice sau pneumatice totuşi, în marea majoritate a cazurilor, se folosesc pentru realizarea acestor instalaţii elemente electrice, adică elemente în care cel puţin una din mărimile x sau y este de natură electrică. În acest capitol vor fi descrise numai elemente electrice. Funcţiunile pe care le îndeplinesc aceste elemente sînt foarte variate şi cu ele se execută cele mai diferite dispozitive de măsurare, comandă sau reglare. Din punct de vedere al funcţiunilor îndeplinite, elementele pot fi împărţite în următoarele categorii principale:

— traductoare;
— relee;
— amplificatoare;
— stabilizatoare;
— distribuitoare;
— elemente de calcul;
— elemente pentru legături sincrone;
— elemente de execuţie (de acţionare) [1].

[1]) Aceste elemente care comandă obiectele ce se automatizează (motoare, electromagneţi etc.) nu vor fi descrise în acest capitol.

Metodele după care se aleg şi se combină elementele enumerate pentru a se realiza o anumită instalaţie, cum şi studiul fenomenelor care apar la conectarea elementelor într-un circuit de automatică (teoria reglajului) nu intră în cadrul acestui capitol şi sînt expuse în capitolele care tratează despre diferitele procese industriale sau energetice. De asemenea, nu sînt tratate aici elementele specifice ale protecţiei automate care sînt cuprinse într-un capitol special.

Industria produce în prezent un număr enorm de elemente de automatică bazate pe principiile cele mai diferite, dintre care în acest capitol se descriu numai un număr redus de elemente, mai frecvent întrebuinţate.

Caracteristica principală a unui element de automatică este *factorul său de transfer*, care se defineşte fie prin raportul $K = \frac{y}{x}$ *(factor de transfer static)*, fie prin raportul $K' = \frac{\Delta y}{\Delta x} \approx \frac{\partial y}{\partial x}$ *(factor de transfer dinamic* [1]).

Aceşti factori depind de natura funcţie $y = F(x)$. Pentru fiecare categorie de elemente, aceşti coeficienţi au o denumire şi o semnificaţie proprie. În cazul traductorului, factorul de transfer se numeşte *sensibilitate absolută*, iar dimensiunile lui depind de dimensiunile mărimilor y şi x. Deseori traductoarele se caracterizează şi prin *sensibilitatea relativă* $S = \frac{\Delta y/y}{\Delta x/x}$, adică raportul dintre variaţia relativă a mărimii de eşire faţă de variaţia relativă a mărimii de intrare, care este o mărime fără dimensiuni. În cazul amplificatoarelor, factorul de transfer se numeşte *factor de amplificare* şi cum x şi y pot fi curenţi, tensiuni, sau puteri, factorul de amplificare poate fi pentru curent, tensiune sau putere. În majoritatea cazurilor, la amplificatoare x şi y sînt mărimi identice şi deci factorul de amplificare nu are dimensiuni.

Pentru evaluarea preciziei elementelor de automatică se foloseşte coeficientul denumit *eroare relativă raportată*, care este diferenţa dintre valoarea măsurată a mărimii de ieşire y şi valoarea etalonată pentru un anumit x, raportată la valoarea maximă a mărimii de ieşire. Această eroare se dă de obicei în procente, $\frac{\Delta y}{y_{max}} \cdot 100$.

Eroarea unui element provocată de modificarea caracteristicilor lui cu trecerea timpului se numeşte *instabilitatea elementului.*

În practică, de cele mai multe ori, relaţia între y şi x nu este dată de o curbă, ci de o regiune cuprinsă între două curbe limite; aceasta este efectul frecărilor fenomenelor de histerezis, perturbaţiilor etc. De acest fapt este legat pragul de sensibilitate al elementului. La o valoare x_0 a mărimii de intrare, mărimea de eşire y poate lua valori cupinse între două valori limită y_1 şi y_2. Dacă x variază, numai pentru $x < x_1$ mărimea y va fi în mod cert mai mică decît y_1 şi numai pentru $x > x_2$ va fi în mod cert mai mare decît y_2. Valorile $\Delta x_1 = x_0 - x_1$ şi $\Delta x_2 = x_2 - x_0$ se numesc *praguri de sensibilitate* pentru valoarea x_0. Intervalul $x_2 - x_1$ se numeşte *zonă de insensibilitate.* De obicei, elementele sînt construite astfel încît pragurile lor de sensibilitate să fie cît mai mici, iar variaţiile mărimii de intrare x trebuie stabilite astfel încît să fie mult mai mari decît aceste praguri de sensibilitate.

În cele expuse s-a presupus că elementul funcţionează într-un regim static sau cu variaţii ale lui x foarte lente în timp. Dacă această mărime x, deci şi mărimea y, are o variaţie în timp rapidă, elementul funcţionează într-un *regim dinamic.* În acest caz, pentru că elementul are, în general, inerţie, variaţiile mărimii de

[1]) Aproximaţia este valabilă deoarece în automatică se admite liniaritatea între limite determinate ale unui fenomen neliniar.

ieşire y urmăresc variaţiile lui x cu un oarecare decalaj în timp. Inerţia elementelor prezintă foarte mare importanţă, deoarece ea determină comportarea instalaţiilor de automatică şi telemecanică într-un regim dinamic. Cazul cel mai simplu este acela în care mărimea x variază prin salt de la valoarea 0 la valoarea x_0. Dacă într-un regim static, la valoarea x_0 corespunde valoarea y_0 a mărimii de eşire, în regim dinamic această valoare y_0 este atinsă după un timp oarecare, în care interval în element are loc un proces transitoriu, aperiodic sau oscilatoriu amortizat. În cazul cel mai simplu valoarea y variază după o lege exponenţială

$$y = y_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right),$$

unde T este *constanta de timp* a elementului.

În practică inerţia unui element se defineşte şi prin timpul necesar ca valoarea lui y să difere de y_0 numai cu 2 – 10 %.

Dacă mărimea x variază în timp după o sinusoidă, atunci pentru un element cu caracteristica liniară, curba mărimii y va fi de asemenea o sinusoidă decalată cu un unghi φ faţă de curba lui x. Amplitudinea acestei sinusoide y_{0d} va fi diferită de valoarea mărimii de ieşire y_0 din regimul static. Decalajul φ şi amplitudinea y_{0d} depind de frecvenţa oscilaţiilor mărimii de intrare x şi, în comparaţie cu mărimea y_0 din regimul static, pot de asemenea să caracterizeze inerţia elementului. Diferenţa $y_{0d} - y_0$ se numeşte *eroarea dinamică* a elementului şi prin construcţia elementului se caută să fie cît mai mică.

B. Traductoare

4. **Generalităţi** [1]). Traductor se numeşte elementul care transformă mărimea controlată sau reglată, de valoare x, într-o altă mărime de valoare y, mai convenabilă pentru a acţiona asupra organelor de control sau comandă ale instalaţiei de automatică sau telemecanică. În majoritatea cazurilor se întîlnesc traductoare în care mărimea x este de natură neelectrică şi mărimea y de natură electrică, iar principiul lor de funcţionare se bazează pe faptul că un parametru electric al unui corp solid sau lichid depinde într-un fel oarecare de mărimea neelectrică de măsurat. De obicei se caută ca relaţia între y şi x (caracteristica elementului) să fie cît mai liniară, dar se întrebuinţează uneori şi traductoare cu caracteristici de alt fel.

Introducerea traductoarelor electrice pentru mărimi neelectrice a permis dezvoltarea instalaţiilor perfecţionate de automatică şi telemecanică; aceste traductoare vor fi descrise în cele ce urmează. Avantajele traductoarele electrice sînt: sensibilitate şi precizie foarte mare, consum neglijabil de energie din fenomenul măsurat, inerţie în general redusă, posibilitate uşoară de amplificare şi transformare pentru acţionare asupra unui dispozitiv de control, comandă sau telemecanică.

După principiul lor de funcţionare, traductoarele se împart în două categorii: *traductoare parametrice*, la care mărimea neelectrică se transformă într-un parametru al unui circuit electric (rezistenţă, inductanţă, capacitate) şi *traductoare generatoare*, în care mărimea neelectrică este transformată într-o f.e.m. La traductoarele parametrice energia electrică a mărimii de eşire y se ia dintr-o sursă de energie z; traductorul generator nu are nevoie de o asemenea sursă auxiliară, deoarece energia de eşire este luată din energia mărimii de intrare x.

După felul mărimii neelectrice de intrare, traductoarele pot fi împărţite în următoarele grupuri principale: traductoare de mărimi mecanice, traductoare

[1]) Pentru acest subcapitol a se vedea şi vol. I cap. IV subcap. H.

de mărimi termice, traductoare de mărimi optice şi traductoare de proprietăţi fizico-chimice ale substanţelor.

Varietatea acestor traductoare este foarte mare. În cele ce urmează se vor descrie pe scurt numai tipurile de traductoare din primele două grupuri, iar traductoarele optice în paragraful releelor fotoelectrice.

Mărimea controlată nu acţionează întotdeauna direct asupra traductorului, ci se transformă în prealabil într-o altă mărime neelectrică. De exemplu, presiunea se transformă în deplasarea acului manometrului, care la rîndul ei se transformă într-o modificare de rezistenţă (traductor reostatic).

5. **Traductoarele rezistive pentru măsurarea mărimilor mecanice** se aplică în cazul deplasărilor relativ mari (deplasări liniare de la cîţiva mm la sute de mm şi deplasări unghiulare de la cîteva grade pînă la zeci de grade). Exemple tipice de întrebuinţare sînt aplicaţiile de la măsurarea nivelului lichidelor în rezervoare sau a unghiului de rotaţie al unui aparat cu ac indicator. Un asemenea traductor este format dintr-un reostat cu înfăşurare continuă sau fracţionată în lungul căreia se deplasează un cursor. Înfăşurarea se execută pe o carcasă plană sau cilindrică din material izolant sau din aluminiu, respectiv duraluminiu acoperit cu un strat izolator. Pentru înfăşurare se folosesc conductori din manganin, constantan, aliaj de platină şi iridiu etc. cu diametre între 0,03 şi 0,3 mm. Cursorul se face de obicei din platină cu 30 % iridiu. Forţa de apăsare a cursorului este de 0,1 – 1 gf. Pentru traductoare avînd conductorii cu diametrul mai mare de 0,1 mm cursoarele se execută sub formă de perii din plăci de argint sau bronz fosforos, cu forţa de apăsare de 5 – 10 gf. Coeficientul de frecare pentru aceste cursoare se ia 0,25 – 0,3. Suprafaţa conductorului trebuie să fie acoperită cu email sau cu un strat de oxid, pentru izolaţie. După executarea înfăşurării toată suprafaţa se acoperă cu un strat de lac, de obicei de bachelită. Pentru contactul cu cursorul, suprafaţa înfăşurării se şlefuieşte pe o lăţime mai mare decît de 2 – 3 ori diametrul conductorului.

Rezistenţa totală R a traductorului în Ω, diametrul d, în mm, al conductorului şi L_0 lungimea, în mm, a înfăşurării pe carcasă sînt legate prin relaţia:

$$R = \frac{4\,\rho l}{\pi\, d^2} \cdot \frac{L_0}{f d} \tag{5.1}$$

în care:

ρ este rezistivitatea materialului conductorului, în $\Omega\ mm^2/m$;
l = lungimea unei spire, în m;
$f = (1{,}05 \cdots 1{,}10)\frac{d_1}{d}$, unde d_1 este diametrul conductorului inclusiv izolaţia.

Din condiţia de încălzire admisibilă în regim permanent se deduce relaţia:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 I^2 \rho}{k\, \pi^2\, \mu\, \Delta\theta}}, \tag{5.2}$$

în care:

μ este coeficientul de transmisie a căldurii egal cu $(1{,}2 \cdots 1{,}4)10^{-3}$ W/cm²·grd;
k — un coeficient care ţine seamă că o parte din suprafaţa conductorului este în contact cu carcasa şi nu cu aerul înconjurător $\left(1 > k > \frac{1}{2}\right)$;
$\Delta\theta = \theta - \theta_0$ este încălzirea admisibilă a înfăşurării peste temperatura θ_0 a mediului înconjurător, în °C.

În unele cazuri este necesar să se obțină o anumită lege de variație a curentului I_s în funcție de drumul parcurs x. În acest scop înfășurarea se execută pe o carcasă cu un profil special (fig. 3). Dacă $R_x = f(x)$, admițînd o grosime constantă b a carcasei și o înălțime variabilă y, rezultă:

$$dR_x \approx 2\,(b + y)\,\rho\,\frac{w_0}{S}\,dx, \tag{5.3}$$

în care w_0 este numărul de spire pe unitatea de lungime $w_0 = \dfrac{1}{fd}$. (5.4)

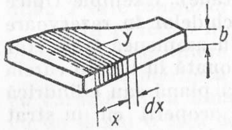


Fig. 3. — Profil special pentru carcasă.

Cu această relație se poate stabili: funcțiunea R_x cînd se cunoaște curba profilului carcasei $y = \varphi(x)$ sau, cînd se cunoaște funcția care trebuie să se obțină $R_x = f(x)$, se deduce profilul carcasei:

$$y \approx \frac{S}{2\rho w_0}\,\frac{df(x)}{dx} - b. \tag{5.5}$$

Dacă se dă variația maximă admisibilă $\Delta R_x = \dfrac{df(x)}{dx}\,\Delta x_0$, se deduce Δx_0 și deci $fd = \Delta x_0$ și $w_0 = \dfrac{1}{\Delta x_0}$.

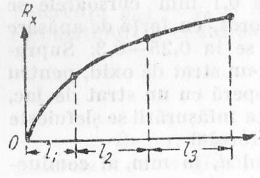


Fig. 4. — Traductor rezistiv cu trepte.

Construirea unui reostat pe o carcasă cu profil curb este dificilă din cauză că nu se pot fixa bine spirele. În general, se înlocuiește curba R_x din fig. 4, cu o linie în trepte și se alege astfel numărul treptelor și lungimea lor astfel încît căderea de rezistență să nu depășească o valoare dată ΔR_0.

Pentru a se obține un traductor precis și stabil este necesar să se prelucreze cu atenție carcasa (fără sgîrieturi, bavuri sau ondulații) să se folosească conductori de calitate superioară, să se facă impregnarea cu lacuri potrivite (pe bază de rășini fenolice cu 40 % solvent) și să se șlefuiască corect porțiunea pentru contact cu cursorul.

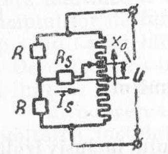


Fig. 5.— Schemă de conectare a traductorului R_x; R_s — rezistența de sarcină.

Traductoarele rezistive se întrebuințează de obicei în scheme în punte (fig. 5).

6. **Traductoare inductive pentru măsurarea deplasărilor.** De obicei construcția traductoarelor inductive asigură o relație liniară între mărimea de măsurat și deplasarea unei armături (variația întrefierului δ_x al unei bobine). Datorită variației acestui întrefier, care poate avea valori foarte mici (sub 1 mm), se modifică inductanța bobinei înfășurată pe miezul magnetic respectiv și conectată într-un circuit alimentat în curent alternativ (fig. 6). Inductanța bobinei cu circuit magnetic nesaturat este:

$$L_x = \frac{w^2}{R_m + \dfrac{2\delta_x}{4\pi \cdot s \cdot 10^{-9}}} \approx \frac{4\pi\, 10^{-9}\, w^2\, s}{2\delta_x} = k \cdot \frac{s}{\delta_x}, \tag{6.1}$$

în care:

w este numărul de spire al bobinei;

$R_m \ll \dfrac{2\delta_x}{4\pi \cdot s \cdot 10^{-9}}$, este reluctanța miezului și armăturii, în $\dfrac{1}{\mathrm{H}}$;

s — secțiunea întrefierului, în cm².

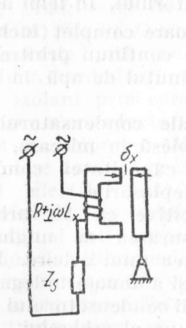


Fig. 6. — Traductor inductiv.

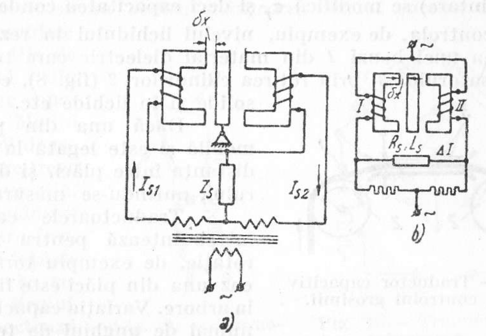


Fig. 7. — Traductor inductiv: *a* — diferențial, *b* — în punte.

Valoarea curentului în circuitul de ieșire al traductorului este:

$$\bar{I} = \frac{\bar{U}}{R_s + R + j\omega\left[L_s + k\dfrac{s}{\delta_x}\right]}, \tag{6.2}$$

în care

R este rezistența bobinei traductorului;

$Z_s = R_s + j\omega L_s$ impedanța complexă a restului circuitului.

Variațiile întrefierului δ_x vor provoca variația amplitudinii și fazei lui I. Acest dispozitiv are inconvenientul că necesită un efort important pentru a învinge forța de atracție care acționează asupra armăturii, greutatea pieselor și frecările. Primul din aceste inconveniente se înlătură în cea mai mare parte în dispozitivul diferențial sau cel în punte [fig. 7 *a* și *b*]. Forțele de atracție asupra armăturii acționează în sens invers astfel că forța de la intrarea traductorului trebuie să învingă numai diferența dintre aceste atracții, greutatea pieselor și frecărilor.

Foarte des se execută traductoare inductive sub forma unei bobine în interiorul căreia se deplasează un miez de oțel sub acțiunea variației mărimii neelectrice de măsurat.

Avantajele esențiale ale acestor traductoare constau în faptul că nu au contacte, sînt simple, și eftine. Sînt însă foarte sensibile la variația factorilor exteriori: temperatura, tensiunea și frecvența din circuitul de ieșire. Variația mărimilor obținute la ieșire în funcție de deplasarea de la intrare este adeseori neliniară.

Din cauza inerției lor relativ mari, traductoarele inductive nu sînt potrivite pentru măsurări de deplasări care variază rapid. Precizia lor este mare pentru deplasări mici și lente.

7. **Traductoarele capacitive** sînt de obicei formate dintr-un condensator plan a cărui capacitate este dată de formula:

$$C = 8.84\,\varepsilon_r\,\frac{S}{d}\,10^{-6}\ [\mu\mathrm{F}],$$

în care: ε_r este constanta dielectrică relativă a mediului omogen dintre armăturile condensatorului;

S — suprafaţa plăcilor, în cm²;

d — distanţa între plăci, în cm.

Prin modificarea caracteristicilor acestui mediu (cazul cel mai frecvent de întrebuinţare) se modifică ε_r şi deci capacitatea condensatorului. În felul acesta se poate controla, de exemplu, nivelul lichidului în rezervoare complet închise sau grosimea unei benzi *1* din material dielectric care trece continuu printre plăcile condensatorului *3*, prin rotirea cilindrilor *2* (fig. 8), conţinutul de apă în corpuri solide şi în lichide etc.

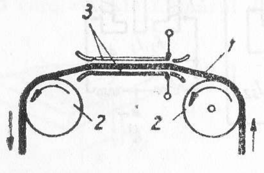


Fig. 8. — Traductor capacitiv pentru controlul grosimii.

Dacă una din plăcile condensatorului este mobilă şi este legată la o piesă în mişcare, va varia distanţa între plăci, şi deci capacitatea condensatorului, putîndu-se măsura deplasările.

Traductoarele capacitive cu S variabil se întrebuinţează pentru măsurarea de unghiuri de rotaţie, de exemplu torsiunea unui arbore. În acest caz una din plăci este fixă şi a doua este legată rigid la arbore. Variaţia capacităţii condensatorului depinde numai de unghiul de torsiune al arborelui.

Se construiesc traductoare capacitive şi pe principiul măsurării pierderilor dielectrice ale condensatorului, întrebuinţate pentru măsurarea umidităţii unor substanţe fibroase.

Traductoarele capacitive au la frecvenţa industrială o putere foarte mică şi o impedanţă foarte mare. De aceea sînt întrebuinţate în scheme cu frecvenţă înaltă din domeniul acustic sau radio, în felul acesta mărindu-li-se mult puterea şi micşorîndu-se impedanţa proprie.

Principalul dezavantaj al întrebuinţării traductoarelor capacitive este eroarea provocată de capacităţile parazitare, în special de capacitatea conductorilor, care poate fi comparabilă cu aceea a traductorului şi, în plus, variabilă în mod accidental.

8. **Traductoarele cu termorezistenţă** sînt traductoarele formate dintr-un conductor sau semiconductor, încălzit de curentul electric care-l străbate şi a cărui rezistenţă este determinată de echilibrul termic între conductor sau semiconductor şi mediu. Temperatura de regim a unui astfel de traductor prin care trece un curent de o intensitate dată şi în consecinţă şi rezistenţa lui, este o funcţie foarte complicată de:

— dimensiunile geometrice ale conductorului sau semiconductorului, a stării suprafeţei lui, armătura în care se fixează;

— densitatea şi compoziţia mediului gazos sau lichid în care se găseşte traductorul;

— viteza mediului gazos sau lichid în care se găseşte traductorul;

— temperatura mediului.

Variaţia rezistenţei traductorului în funcţie de aceşti factori poate fi utilizată pentru a măsura diferite mărimi neelectrice care caracterizează mediul respectiv: temperatura, viteza, concentraţia, densitatea etc. Pentru aceasta, traductorul se construieşte astfel încît toţi ceilalţi factori, cu excepţia mărimii de măsurat să aibă o influenţă cît mai mică asupra temperaturii traductorului la stabilirea echilibrului termic. Sînt două grupe de asemenea traductoare. Din prima grupă fac parte cele folosite la măsurarea vitezei, concentraţiei şi densităţii mediului; ele sînt construite din sîrmă cu diametrul de 0,02—0,1 mm (mai ales de platină) de lungime mică (1—50 mm) şi încălzite prin curent electric la temperaturi mari (100—400°C). Din grupa a doua fac parte traductoarele destinate măsurării temperaturii mediului şi sînt formate dintr-o sîrmă subţire bobinată pe o carcasă, înconjurată, de obicei, de unul sau mai multe învelişuri de protecţie. Căldura produsă de curentul electric care trece în aceste traductoare trebuie să fie mică, astfel încît temperatura lor să se stabilească pe baza căldurii primite de la mediul a cărui temperatură se măsoară.

α) *Traductoare cu termorezistenţă pentru măsurarea vitezei gazelor* (termoanemometre) (fig. 9). O sîrmă subţire de platină *1* este lipită de două tije de manganin *2*, fixate într-o piesă *3* din material izolant prin care trec capetele de ieşire ale traductorului. Modul principal de disipare a căldurii degajate de către firul *1* (prin care trece curentul electric) este convecţia. Coeficientul de transmisie a căldurii către mediu şi deci temperatura firului depinde de viteza mediului faţă de fir. Măsurarea acestei viteze se reduce la măsurarea rezistenţei firului. Aceste traductoare se conectează într-o schemă în punte şi se întrebuinţează pentru măsurarea vitezelor gazelor de ordinul a 20 m/s.

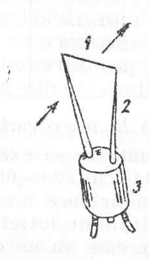


Fig. 9. — Termoanemometru.

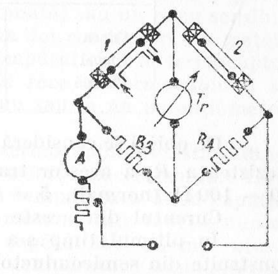


Fig. 10. — Traductor pentru măsurarea conţinutului de CO_2.

β) *Traductoarele cu termorezistenţă pentru analiza gazelor* se construiesc astfel încît echilibrul termic dintr-o cameră în care circulă gazul de analizat şi în care se găseşte un fir prin care trece un curent electric să fie determinat mai ales de conductibilitatea termică a amestecului de gaze, care depinde de proporţia gazelor din amestec. În fig. 10 este arătată schema unui traductor pentru măsurarea conţinutului de CO_2 din gazele arse într-un braţ al punţii este conectată camera *1* cu gazul de analizat, iar în braţul învecinat este conectată o cameră identică *2* cu aer pentru compensarea erorilor datorite variaţiei temperaturii ambiante.

γ) *Traductoare cu termorezistenţă pentru temperatură. Termometrele cu rezistenţă* pentru măsurarea temperaturii mediului sînt cele mai răspîndite traductoare din această categorie. Materialul, conductor sau semiconductor întrebuinţat trebuie să aibă: o variaţie univocă şi uniformă a rezistenţei electrice pentru un interval cît mai mare de temperatură, un coeficient mare de variaţie a rezistenţei cu temperatura, stabilitate termică şi chimică, posibilitate de prelucrare mecanică şi proprietatea de a i se putea reproduce caracteristica $R = f(\theta)$.

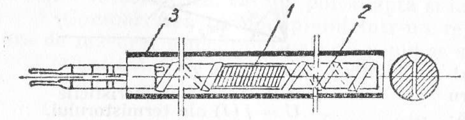


Fig. 11. — Termometru cu rezistenţă.

Dintre conductori se întrebuinţează cuprul, nichelul şi platina, în formă de sîrmă subţire, cu diametrul de 0,05—0,1 mm, înfăşurată pe o carcasă din mică, porţelan sau quarţ, cu secţiunea cilindrică sau în formă de cruce. Pentru protecţie, carcasa cu înfăşurarea de sîrmă *1* şi înfăşurarea de protecţie *2* este introdusă într-un tub de protecţie *3* din oţel carbon sau oţel inoxidabil (fig. 11).

Valoarea rezistenţei R_θ la temperatura θ, în funcţie de rezistenţa R_0 la temperatura 0°C este dată de:

$$R_\theta = R_0 (1 + \alpha\theta + \beta\theta^2). \tag{8.1}$$

Pentru metalele întrebuinţate, limitele de întrebuinţare şi coeficienţii din formula (8.1) sînt indicaţi în tabela 1.

Tabela 1. Caracteristici ale termometrelor cu rezistenţă

Metalul	Limite de întrebuinţare	α	β
Cupru	100–150°C	$4\cdot10^{-3}$	0,00
Nichel	250–350°C	$4{,}6\cdot10^{-3}$	$-6{,}93\cdot10^{-6}$
Platină	500–800°C	$3{,}97\cdot10^{-3}$	$-5{,}8\cdot10^{-7}$

De obicei se consideră că R_θ are o variaţie liniară în funcţie de θ, adică $\beta = 0$. Rezistenţa R_0 a acestor traductoare se execută cu următoarele game de valori: 40 – 100 Ω (normal), 5 – 10 Ω şi 200 – 600 Ω.

Curentul din aceste traductoare nu depăşeşte 10 – 15 mA.

În ultimul timp s-a răspîndit întrebuinţarea de traductoare de acest fel construite din semiconductoare care au un coeficient negativ de temperatură; ele sînt denumite *termistoare* (oxizi, sulfuri, azoturi sau carburi de metale). La capetele termistoarelor, care se fac prin presarea materialului în pulbere, se introduc electrozii şi apoi se acoperă cu email sau lac. Uneori termistoarele se introduc în baloane de sticlă în care se face vid sau care se umplu cu un gaz inert. Formula pentru variaţia rezistenţei termistorului R_θ în funcţie de temperatură şi de rezistenţa la 0°C este:

$$R_\theta = R_0\left(1 + \alpha\theta + \frac{\alpha^2\theta^2}{2}\right). \tag{8.2}$$

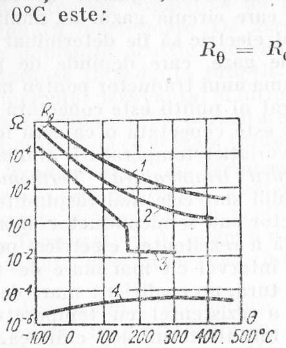
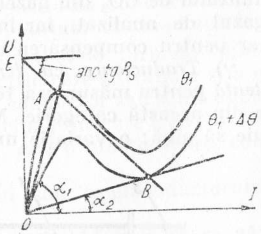


Fig. 12. — Curbele $R_\theta = f(\theta)$ pentru diferite termistoare şi pentru platină: *1* — oxid de uraniu; *2* — oxid de magneziu; *3* — sulfură de argint; *4* — platină.



Fif. 13. — Caracteristicile $U = f(I)$ ale termistorului.

Coeficientul α este negativ la termistoare şi de 5 – 10 ori mai mare decît la metale. În fig. 12 sînt trasate curbele $R_\theta = f(\theta)$ pentru diferite feluri de termistoare. Numai un aliaj de 85 % telur cu argint are un coeficient $\alpha = 0{,}012$ care se apropie mai mult de al termistoarelor. Constanta de timp a termistoarelor în funcţie de dimensiunile şi formele lor variază între 0,01 şi 60 s. În unele instalaţii termistoarele sînt sensibile la diferenţe de temperatură de 0,001°C.

În fig. 13 s-au trasat caracteristicele $U = f(I)$ ale unui termistor pentru temperaturile exterioare θ_1 şi $\theta_2 = \theta_1 + \Delta\theta$. Dacă se conectează în serie cu termistorul o rezistenţă suplimentară R_s, atunci la creşterea temperaturii mediului cu $\Delta\theta$ curentul

va varia între limitele date de A şi B cu $\Delta I = I_B - I_A$, iar rezistenţa termistorului va varia cu $\Delta R = \operatorname{tg}\alpha_2 - \operatorname{tg}\alpha_1$. Dacă se foloseşte termistorul pentru o comandă în funcţie de $\Delta\theta$, alegerea valorilor U şi R_s trebuie făcută astfel încît să se obţină o valoare mare pentru ΔI. Punctul A trebuie să se găsească spre finele porţiunii iniţiale a curbei $U_{0_1} = f(I)$.

Variaţia rezistenţei traductorului produce variaţia curenţilor într-o punte pe a cărei diagonală se află un amplificator (punte automată) sau un releu sensibil.

9. **Traductoarele cu termocuplu** sînt alcătuite din doi conductori din metale diferite, sudaţi la una din extremităţi, care constituie capătul cald al termocuplului. Celelalte două extremităţi, care formează capătul rece al termocuplului se leagă la bornele unui milivoltmetru de curent continuu sau la un potenţiometru manual sau automat.

În cazul cînd între capătul cald şi capătul rece al termocuplului există o diferenţă de temperatură, apare în circuitul termocuplului o forţă electromotoare care este funcţie de această diferenţă de temperatură. Dacă temperatura de la capătul liber se menţine constantă, atunci această forţă electromotoare este funcţie numai de temperatura de la capătul cald. Pentru a se obţine la capătul liber o temperatură constantă sau care să varieze cît mai lent la variaţia temperaturii ambiante, se introduce acest capăt cît mai adînc în pămînt sau într-o cutie masivă, prevăzută cu izolaţie termică şi cu un termometru pentru a se putea face corecţiile respective. Metalele şi aliajele cele mai întrebuinţate pentru construcţia termocuplurilor sînt: platină - platină rodiu 10 % pentru temperaturi pînă la 1 450°C la serviciu continuu, cromel-alumel pentru temperaturi pînă la 1200°C, crom-constantan pînă la 900°C. Termocuplurile cu constantan pot da diferenţe de 5 – 20°C.

Deoarece termocuplul este introdus într-o armătură de protecţie este necesar să fie prelungit cu conductori legaţi de o parte la bornele termocuplului şi de cealaltă la conductorii care pleacă la aparatul de măsurat sau de comandă (*conductori de compensaţie*); pentru termocupluri din metale rare se fac din materiale mai ieftine decît ale termocuplurilor, dar care trebuie să aibă între limitele de temperatură posibilă (aproximativ 0 – 100°C) aceeaşi caracteristică ca şi termocuplul de bază. Conductorii de compensaţie au secţiunea pînă la 2,5 mm² şi sînt izolaţi în cauciuc.

Pentru măsurarea temperaturilor pînă la 500°C se întrebuinţează termometrele cu rezistenţă, care nu cer o temperatură constantă de referinţă ca în cazul termocuplurilor. Pentru temperaturi peste 1500°C se folosesc pirometre de radiaţie cu celule fotoelectrice, care se pot adapta şi la instalaţiile de automatizare.

Comportarea termocuplului într-un regim dinamic, adică în care temperatura de măsurat a mediului variază rapid se studiază în cele ce urmează.

Cantitatea de căldură Q_1 primită de traductor în timpul dt este:

$$Q_1 = \alpha s\,(\theta_0 - \theta)\,dt, \tag{9.1}$$

în care:

θ_0 este temperatura mediului, în °C;
θ — temperatura traductorului, °C;
s — suprafaţa traductorului, cm²;
α — coeficientul de schimb superficial de căldură, în cal/s·cm²·grd.

Cantitatea de căldură Q_2 pentru încălzirea traductorului cu $d\theta$ în timpul dt este:

$$Q_2 = c\,V\,d\theta, \tag{9.2}$$

unde:

V este volumul traductorului, în cm³;
c — capacitatea termică volumetrică a traductorului, în cal/cm³. grd.

Din egalitatea $Q_1 = Q_2$ se deduce ecuaţia:

$$T\frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_0, \qquad (9.3)$$

în care $T = \frac{cV}{\alpha s}$ este constanta de timp pentru încălzirea traductorului.

Pentru termocuplul cromel-alumel din fig. 14, T se calculează în felul următor:

$$T = \frac{(c' + c_2)\gamma}{2\alpha} \cdot \frac{\frac{\pi d^2}{4}\cdot l_0}{\pi d\, l_0} = \frac{c_1' + c_2}{\alpha}\cdot\frac{d\cdot\gamma}{8} \qquad (9.4)$$

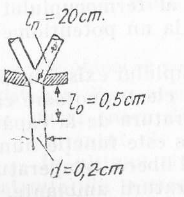


Fig. 14. — Termocuplu cromel-alumel

în care $c' = \frac{c}{\gamma}$

Introducînd valorile numerice respective şi anume:

$$c_1' = c_2' \approx 0{,}136 \text{ cal/g}\cdot\text{grd};\ \gamma = 8{,}6 \text{ g/cm}^3;$$
$$\alpha = 0{,}6\cdot 10^{-3} \text{ cal/s}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{grd}$$

rezultă $T = 500\ ds$.

Dacă $d = 0,2$ cm, atunci $T = 100$ s.

Dacă temperatura mediului variază după legea:

$$\theta_x = \theta_0 + \theta_m \sin\omega t = 200 + 20\sin(0{,}4\,t) \qquad (9.5)$$

şi dacă se întrebuinţează un termoelement avînd $T = 10$ s, din integrarea ecuaţiei (9.3) rezultă că temperatura termoelementului este:

$$\theta = 200 + 4\sin(0{,}4t - 76). \qquad (9.6)$$

10. Circuite de măsură. Traductoarele parametrice produc la ieşire o variaţie de rezistenţă, inductanţă sau capacitate, care pentru a putea acţiona asupra aparatelor indicatoare, înregistratoare sau de comandă dintr-un sistem automat de control, comandă sau reglaj trebuie transformate în variaţii de curent sau de tensiune. Pentru aceasta servesc circuitele de măsură. Această transformare se face de cele mai multe ori printr-un montaj în punte, în care traductorul se găseşte pe unul din braţe. Puntea lucrează fie în regim echilibrat, fie, mai des, în regim neechilibrat, în care caz instrumentul de măsură din diagonala punţii este gradat direct în unităţi ale mărimii neelectrice de măsurat. Cînd se cere o precizie mai mare decît 1 % sau dacă cuplul mecanic dezvoltat de acul aparatului de măsură nu este suficient pentru acţionarea unui dispozitiv de comandă, în locul punţii neechilibrate se foloseşte o punte cu reglare automată, care poate fi prevăzută cu un dispozitiv pentru transmiterea unei comenzi. Asemenea punţi automate se execută în două tipuri fundamentale. La primul tip, bazat pe principii electromecanice, indicatorul de echilibru al punţii comandă funcţionarea unui servomotor care aduce puntea la echilibru prin deplasarea unui cursor pe un reocord. Acesta are o scară care indică valoarea mărimii neelectrice de măsurat. Constatarea dezechilibrului şi reechilibrarea punţii se fac la anumite intervale de timp. Un exemplu de astfel de punte automată este puntea sovietică A Y M (cu dispozitiv de comandă pentru reglaj tip A Y M P). Inconvenientele acestei punţi sînt complicaţia mecanică a construcţiei şi erorile care apar cînd valoarea mărimii neelectrice variază repede în comparaţie cu intervalul de timp de constatare al punţii.

Al doilea tip de punţi automate se bazează pe principii electronice şi are o echilibrare continuă (fig. 15.) În acest caz tensiunea de dezechilibru a punţii, produsă de variaţiile caracteristicilor traductorului T este aplicată la intrarea amplificatorului A care alimentează prin înfăşurarea de comandă W_c servomotorul M, (W_0 este înfăşurarea de excitaţie) cuplat mecanic cu cursorul reocordului R, cu un ac înregistrator, sau cu dispozitivul de comandă al unei automatizări. Rotirea servomotorului într-un sens sau altul depinde de sensul tensiunii de dezechilibru. Un exemplu de acest fel este puntea sovietică EMP.

Eroarea cu care se lucrează aceste punţi automate este de circa 0,5 %.

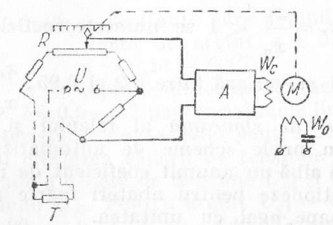


Fig. 15. — Schema simplificată a unei punţi automate electronice.

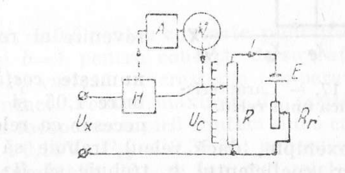


Fig. 16. — Schema simplificată a unui potenţiometru automat.

Traductoarele generatoare se conectează, în cazurile cele mai simple la un circuit de măsură format dintr-un aparat indicator. Dacă traductorul trebuie să acţioneze un dispozitiv de comandă, este necesar un cuplu mecanic mai puternic, care se obţine fie prin amplificarea f.e.m. produsă de traductor, fie prin folosirea unui circuit de măsură care este format, de cele mai multe ori, dintr-un potenţiometru cu echilibrare automată. Ca şi în cazul punţilor, există potenţiometre automate cu echilibrare electromecanică şi cu echilibrare electronică. În fig. 16 este arătată schema de principiu a unui astfel de potenţiometru. U_x este tensiunea produsă de traductor, iar U_c tensiunea de compensare. În starea de echilibru $U_x = U_c$; cînd tensiunea produsă de traductor se schimbă, dispozitivul de nul H acţionează prin amplificatorul A asupra motorului M. Acesta deplasează cursorul reocordului R într-o parte sau alta pînă cînd restabileşte echilibrul tensiunilor din egalitatea de mai sus. Rezistenţa R_r, serveşte pentru reglare.

Pentru funcţionarea acestor potenţiometre, întrebuinţate de obicei pentru f.e.m. continue, această f.e.m. trebuie să fie de 10—50 mV.

C. Relee

11. Generalităţi. În cap. IV. al acestui volum au fost tratate releele de protecţie folosite în instalaţiile electrice. În prezentul capitol vor fi tratate unele aspecte specifice ale releelor care sînt folosite frecvent în automatizarea proceselor de producţie. Aceste relee se împart din punct de vedere al fenomenelor fizice care stau la baza construcţiei lor în: electromagnetice, magnetoelectrice şi magnetice fără contacte.

La orice releu valoarea y a mărimii de ieşire se modifică prin salt atunci cînd mărimea de intrare ajunge la o anumită valoare x_a. Aspectul general al caracteristicii unui asemenea element este arătat în fig. 17. Dacă x variază de la 0 la x_a, mărimea y păstrează o valoare constantă y_1 (de obicei $y_1 = 0$) sau se modi-

fică puţin. Cînd $x = x_a$ se produce saltul şi y creşte brusc de la y_1 la y_2. La o creştere ulterioară a lui x pînă la o valoare maximă x_m, valoarea mărimii de ieşire rămîne iarăşi constantă şi egală cu y_2, sau se modifică foarte puţin. Dacă x se micşorează de la x_m pînă la $x_e < x > x_a$, valoarea mărimii de ieşire rămîne egală aproximativ cu y_2 şi cînd $x = x_e$, y se micşorează prin salt de la valoarea y_2 la y_1, care rămîne aproximativ constantă pînă la $x = 0$. Modificarea lui y prin salt pentru $x = x_a$ (valoare de atragere sau de acţionare, de exemplu curentul sau tensiunea de atragere) se numeşte *atragerea releului*, iar aceea pentru $x = x_e$ (valoarea de eliberare, de exemplu curent sau tensiunea de eliberare) se numeşte *eliberarea releului*. Raportul $k_r = \frac{x_e}{x_a} < 1$ se numeşte coeficientul de revenire al releului şi variază între 0,2 şi 0,95; $\frac{x_m}{x_a} = K$ se numeşte *coeficientul de siguranţă* al releului şi variază între 1,05 şi 2. În unele scheme de automatizare este necesar ca releul să aibă un anumit coeficient de revenire; de exemplu, dacă releul trebuie să funcţioneze pentru abateri foarte mici ale lui x, coeficientul k_r trebuie să fie aproape egal cu unitatea.

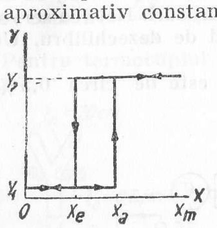


Fig. 17. — Caracteristica unui releu.

În tabela 2 sînt date caracteristicile principale (ca ordin de mărime) ale releelor întrebuinţate mai frecvent în automatizări.

Tabela 2. Caracteristicile principale ale releelor obişnuite

Tipul releului	Puterea de comandă P_x, W	Puterea de ieşire P_y, W	Timpul de atracţie t_a, s
Electromagnetic:			
neutru	$10^{-2}-10^{-3}$	$10^{-1}-10^{4}$	1—200
polarizat	$5\cdot10^{-3}-5\cdot10^{-1}$	10—20	1—15
Magnetoelectric	$10^{-9}-10^{-4}$	0,1—2	10—500
Electronic	$10^{-12}-10^{-8}$	$10^{-3}-10^{-2}$	$10^{-6}-10^{-5}$
Tiratron (releu)	$10^{-4}-10^{-3}$	$10^{-2}-10^{3}$	$10^{-3}-10^{-2}$
Magnetic	10^{-8}	10^{11}	30—60

După mărimea *timpului de atracţie* (de acţionare) $t_a = t_p + t_m$ (în care t_p este timpul de pornire din momentul aplicării tensiunii care provoacă funcţionarea releului şi începutul mişcării armăturii şi t_m este timpul în care se deplasează armătura pînă la stabilirea contactelor releului) releele se împart în:

- relee fără inerţie $t_a < 0{,}001$ s
- relee rapide $t_a = 0{,}005 \ldots 0{,}05$ s
- relee normale $t_a = 0{,}05 \ldots 0{,}15$ s
- relee cu întîrziere $t_a = 0{,}15 \ldots 1{,}0$ s

12. **Contactele releelor** sînt părţile releelor prin care se realizează o comandă discontinuă. Materialele din care se confecţionează contactele sînt: argintul, platină cu iridiu, aliaje din argint cu aur, nichel, platină sau cu alte metale. Pentru puteri mari contactele se fac din cupru, mai rar din bronz sau alamă. Condiţiile pe care trebuie să le îndeplinească contactele sînt: să fie durabile, sigure, să nu

aibă vibraţii, să nu fie influenţate de condiţiile exterioare şi să aibă o rezistenţă de trecere mică.

Cînd contactele sînt închise, între părţile în contact trebuie să fie o forţă P_c care pentru relee de mare sensibilitate are valoarea 0,1—2 gf, pentru relee sensibile 5—10 gf, pentru relee intermediare 20—30 gf, iar pentru releele mai puternice întrebuinţate în automatizări 50—100 gf.

Rezistenţa de contact R_c se poate calcula cu formula:

$$R_c = \frac{a}{P_c^b} \; [\Omega], \qquad (12.1)$$

în care: a este o constantă care depinde de material şi de prelucrare (pentru contacte de argint $a \approx 0{,}06$, pentru contacte de cupru emisferice $a = 0{,}14 - 0{,}17$);

b — depinde de forma contactului ($b = 0{,}5$ pentru contacte punctiforme, $b = 0{,}5 - 0{,}7$ pentru contacte liniare şi $b = 1$ pentru contacte de suprafaţă).

Rezistenţa contactului pentru acelaşi P_c variază cu creşterea temperaturii, adică cu creşterea căderii de tensiune în contact. Pentru maximul de rezistenţă corespunde o cădere de tensiune U_{c1} şi pentru începerea topirii contactului o cădere de tensiune U_{c2}. Pentru argint $U_{c1} = 0{,}08 \ldots 0{,}10$V, $U_{c2} = 0{,}35$ V; pentru cupru $U_{c1} = 0{,}09 \ldots 0{,}13$, $U_{c2} = 0{,}45$. Tensiunile admisibile U_{ca} se iau mai mici decît U_{c1} şi curentul admisibil maxim este $\frac{U_{ca}}{R_c}$.

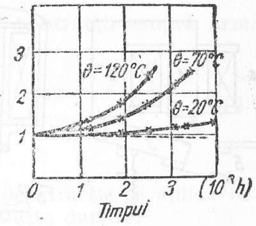


Fig. 18. — Creşterea rezistenţei de contact.

Cu timpul contactele se oxidează la suprafaţă şi rezistenţa lor creşte. În fig. 18 se arată variaţia rezistenţei R_c a contactului de cupru-cupru în funcţie de timp şi de temperatură, raportată la valoarea iniţială R_{c0}.

La curenţi mici, de ordinul 10^{-3} A, rezistenţa contactului se poate schimba brusc şi deveni mare sub influenţe exterioare (umiditate, forţe electromotoare etc.). Contactele din platină şi argint sînt mai puţin sensibile la aceste influenţe decît cele de cupru. Solicitarea contactelor are loc mai ales la întreruperea curentului, cînd — în anumite condiţii — poate apărea un arc. S-a constatat experimental că pentru aceasta este necesar ca tensiunea şi curentul să fie mai mari decît anumite valori minime U_0 şi I_0 care depind de material. Pentru argint aceste valori sînt 12 V şi 0,4 A, pentru platină 17 V şi 0,9A, pentru cupru 13 V şi 0,43 A. Pentru curenţi mai mici decît I_0 şi tensiuni mici distrugerea contactelor poate avea loc numai prin topirea lor. La curenţi mult mai mari decît I_0 uzura contactelor se face mai ales prin acţiunea termică a arcului. O caracteristică a releului este fie puterea de rupere a contactului, fie valoarea curentului pe care pot să o suporte contactele în curent continuu sau alternativ cu sarcină inductivă sau pur ohmică. Dacă releul întrerupe un circuit de curent alternativ, condiţiile de funcţionare ale contactului se îmbunătăţesc şi puterea de rupere este de 2—3 ori mai mare decît în curent continuu.

La închiderea unui circuit contactul este mult mai puţin solicitat afară de cazul cînd contactul vibrează. În acest caz uzura lui este foarte rapidă, de 10—20 ori mai rapidă decît la o funcţionare normală.

Pentru contacte care funcţionează cu curenţi mai mici decît I_0 se întrebuinţează metale rare Au, Pt, Ag şi aliajele lor, în special cu iridiu. Pentru contactele din domeniul $I > I_0$ se întrebuinţează metale greu fuzibile şi aliajele lor: Pt—Ir,

Ag—Pt. Sistemul de contacte al unui releu se caracterizează prin parametrii de exploatare dintre care cei mai importanți sînt:

— curentul de întrerupere maxim, continuu și alternativ, la sarcini inductive și neinductive (raportul între aceste limite poate fi 1/5). Dacă contactul este pus în serie cu un alt contact curentul de întrerupere se mărește aproximativ de 2—5 ori;

— curentul limită de durată pe care contactul îl poate suporta fără întrerupere și pentru care temperatura nu depășește limita admisibilă;

— curentul limită de stabilire pe care contactul îl poate suporta la închidere în curent continuu sau alternativ;

— numărul de operații pe oră. Acest parametru depinde de ansamblul construcției releului și poate ajunge la peste 2000 operații pe oră;

— numărul total de operații pe care le poate suporta contactul înainte de a fi necesară înlocuirea lui; poate depăși 10^7 operații;

— tensiunea aplicată contactelor.

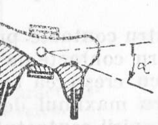


Fig. 19. — Contact cu mercur.

Contactele se așază pe lamele plate din bronz fosforos, alpaca sau, mai rar, oțel. Materialul pentru lamele și tehnologia lor de fabricație trebuie studiate cu multă atenție deoarece de constanța proprietăților mecanice depinde funcționarea corectă a contactelor.

În instalațiile de automatizare se folosesc deseori contacte cu mercur (fig. 19), la care închiderea circuitului se face prin deplasarea mercurului din cauza înclinării tubului cu unghiul α. Aceste contacte funcționează la înclinări de 3···10° și au o putere de rupere [W] de (500···600) v în care v este volumul tubului, în cm³. Acest tip de contacte necesită o forță foarte mică pentru stabilire și întrerupere și pot suporta (1···5) 10^6 conectări.

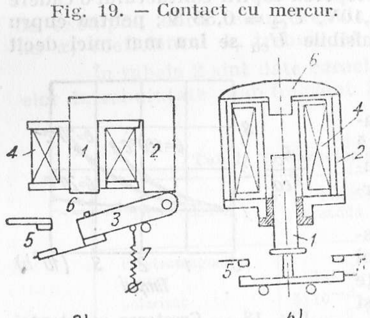


Fig. 20. — Structura unui releu electromagnetic.

13. Releul electromagnetic de curent continuu (neutru) (fig. 20 *a*) se compune din miezul *1*, jugul *2*, armătura *3*, formînd împreună circuitul magnetic din oțel, bobina *4*, sistemul de contacte *5*, distanțierul (opritorul) *6* și arcul *7*. În fig. 20 *b* este arătată structura unui releu cu solenoid din această categorie.

Dimensiunile acestor relee satisfac de obicei următoarele relații:

— pentru releul cu armătura oscilantă fig. 20 *a*:

$$S_j = (1\cdots4)\,S_m;\quad D = (1{,}6\cdots4)\,d;\quad l = (5\cdots8)\,d; \tag{13.1}$$

— pentru releul cu solenoid fig. 20 *b*:

$$S_j = (1{,}5\cdots4)\,S_m;\quad D = (2\cdots4)\,d;\; l = (1\cdots5)\,d, \tag{13.2}$$

în care:

S_j și S_m sînt secțiunile jugului și miezului;

l și d — lungimea și diametrul miezului;

D — diametrul exterior al înfășurării.

Dacă prin înfășurarea cu w spire a releului trece un curent I atunci asupra armăturii releul va acționa o forță F_a care o va deplasa. Această forță, pentru o structură dată a releului, este funcție de mărimea δ a întrefierului și de numărul de amperspire Iw al înfășurării releului. Funcția $F_a = \psi\,(\delta,\ Iw)$ se numește *caracteristica electromecanică* a releului. Valoarea totală F_m a forțelor rezistente care se opun mișcării armăturii este de asemenea funcție de mărimea întrefierului δ și relația $F_m = f\,(\delta)$ pentru Iw=constant se numește *caracteristica mecanică* a releului. Condiția pentru funcționarea sigură a unui astfel de releu este $F_a > F_m$ pentru toate valorile întrefierului. În fig. 21 s-au trasat aceste caracteristici pentru un releu cu un singur contact. Calculul elementelor principale ale releului se face pe bazele dezvoltate în cap. I al acestui volum (Elemente de circuit, subcapit. D. Electromagneți).

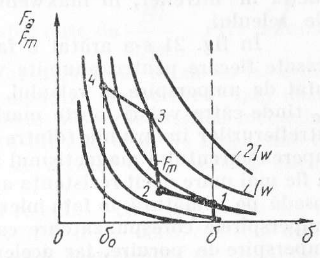


Fig. 21. — Caracteristicile electromecanice și mecanice ale unui releu.

Totuși, pentru precizarea modului de aplicare în cazul releelor, se prezintă mai departe relațiile curent folosite.

α) *Calculul forței magnetice.* Numărul total de amperspire Iw din circuitul magnetic al releului se împarte în Iw_j necesare pentru a stabili fluxul în porțiunea cu fier a circuitului și în Iw_δ necesare pentru a stabili fluxul în întrefier. Dacă se presupune că în timpul deplasării armăturii cu $d\,\delta$, curentul I și deci Iw_δ sînt constante, forța de atracție asupra armăturii este dată de:

$$F_\delta = -\,\frac{(0{,}4\,\pi\ Iw_\delta)^2}{8\pi}\,\frac{d\Lambda_\delta}{d\delta}\ [\text{dyn}] \tag{13.3}$$

în care Λ_δ este permeanța întrefierului.

Dacă armătura are o mișcare de rotație și forța de atracție se aplică la o distanță R de axul de rotație, atunci cuplul de atracție este dat de:

$$M_\delta = -\,\frac{(0{,}4\,\pi\ Iw_\delta)^2}{8\pi}\,\frac{d\Lambda_\delta}{d\alpha}\ [\text{dyn}\cdot\text{cm}], \tag{13.4}$$

unde $d\,\alpha = \dfrac{d\delta}{R}$ este unghiul de rotație, în radiani.

Dacă armătura și miezul au suprafețele opuse plane și se pot considera paralele în cursul mișcării — cazul cel mai răspîndit în practică — atunci:

$$\Lambda_\delta = \frac{S_\delta}{\delta}, \tag{13.5}$$

unde S_δ este suprafața transversală a întrefierului, egală cu suprafața piesei polare de pe miez sau cu suprafața transversală a miezului cînd nu există piesă polară. În acest caz

$$F = \frac{(0{,}4\,\pi\ Iw_\delta)^2}{8\pi}\,\frac{S_\delta}{\delta^2}\ [\text{dyn}]. \tag{13.6}$$

Dacă se neglijează reluctanţa porţiunii de oţel a circuitului magnetic, se obţine pentru forţa de atracţie formula lui Maxwell:

$$F_a = \frac{\Phi_\delta^2}{8\pi\, S_\delta}\ [\text{dyn}] = \frac{B_\delta^2 S_\delta}{5000^2}\ [\text{kgf}], \qquad (13.7)$$

care se poate aplica pentru întrefieruri mai mari şi unde Φ_δ şi B_δ sînt fluxul şi inducţia în întrefier, în maxwelli, respectiv gauşi, produşi de amperspirele totale ale releului.

În fig. 21 s-a arătat o familie de caracteristici electromecanice $F_a = f\,(\delta)$ trasate fiecare pentru anumite valori Iw = constant, adică în funcţie de numărul total de amperspire al releului. Pentru valorile mici ale întrefierului valoarea lui F_a tinde către valori foarte mari determinate de reluctanţa circuitului în fier şi a întrefierurilor invariabile (dintre miez şi jug sau dintre jug şi armătură). La întreruperea curentului magnetismul remanent din oţel poate da o forţă de atracţie care să fie mai mare decît rezistenţa arcului de rapel. Pentru a se înlătura aceasta, releele posedă pe armătură, în faţa miezului, un vîrf distanţier de aproximativ $\delta_0 = 0{,}1$ mm. Amperspirele corespunzătoare caracteristicii care trece prin punctul *1* se numesc amperspire de pornire, iar acelea ale caracteristicii care trece prin punctul *4*, amperspire de lucru $(Iw)_l$.

β) *Calculul circuitului magnetic.* Pentru calculul circuitului magnetic se întrebuinţează egalitatea

$$0{,}4\,\pi Iw = R_m\,\Phi_m + R_j\,\Phi_j + R_\delta\,\Phi_\delta + R_a\,\Phi_a \qquad (13.8)$$

în care indicii m, j, δ, şi a se referă la mărimi corespunzătoare miezului, jugului, întrefierului sau armăturii.

Dacă se presupune că:

$$\Phi_m = \Phi_j;\quad \Phi_\delta = \Phi_a\,;\quad \Phi_m = \sigma\Phi_\delta\,, \qquad (13.9)$$

în care σ este un coeficient de scăpări, egalitatea de mai sus se poate scrie:

$$0{,}4\pi Iw = \Phi_\delta\left[\sigma\left(\frac{l_m}{\mu_m S_m} + \frac{l_j}{\mu_j S_j}\right) + \frac{\delta}{S_\delta} + \frac{l_a}{\mu_0 S_a}\right]. \qquad (13.10)$$

Această formulă împreună cu curba de magnetizare a materialului $B = f\,(H)$ şi cu formula pentru $F_a = f\,(\delta)$ permit calculul circuitului magnetic şi determinarea amperspirelor totale.

Pentru calculul lui σ se aplică formula:

$$\sigma = \frac{\Lambda_\delta + k\lambda_\delta\, l_m}{\Lambda_\delta}, \qquad (13.11)$$

în care: $k \approx \frac{1}{2}$, iar λ_δ — permeanţa specifică pentru fluxul de scăpări se calculează după formule cari ţin seama de structura circuitului magnetic care cuprinde miezul şi jugul. Pentru un circuit prizmatic în U:

$$\lambda_\delta = \frac{2b}{c + \dfrac{\pi b}{2}} + \frac{a}{c}, \qquad (13.12)$$

în care: a este grosimea miezului; b — lăţimea miezului; c — distanţa (în sensul lui a) dintre miezuri, toate în cm.

De obicei dimensiunile diferitelor părţi ale releului sînt date şi prin calcul, se determină numai caracteristicile lui magnetice şi electrice. Pentru aceasta trebuie cunoscută caracteristica mecanică a releului adică $F_m = f\,(\delta)$. Se ia o pereche de valori F_m şi δ şi pe baza egalităţii $F_m = F_a$ se determină cu ajutorul formulelor (13.7) valoarea fluxului Φ_δ şi a inducţiei B_δ. Pentru un calcul simplificat se presupune că circuitul magnetic nu are pierderi adică $\Phi_\delta = \Phi_m$. În felul acesta se determină inducţia în diferitele secţiuni ale releului şi apoi cu ajutorul curbei de magnetizare a materialului se află cîmpul H. Amperspirele necesare pentru magnetizarea porţiunii respective a circuitului magnetic de lungime l sînt date de $\frac{Hl}{0{,}4\pi}$. Prin adunarea valorilor parţiale calculate în acest fel se obţin amperspirele totale Iw necesare pentru stabilirea diferitelor fluxuri în circuitul magnetic. Se verifică apoi dacă această valoare Iw este suficientă şi pentru alte puncte ale caracteristicii mecanice (punctele *3* şi *4* din fig. 21) pentru care se cunoaşte întrefierul δ. Se determină în felul acesta Φ_δ şi F_a adică curba $F_a = \psi\,(\delta Iw)$ şi se verifică dacă această curbă este situată deasupra curbei F_m.

Pentru a se obţine o funcţionare sigură a releului, circuitul magnetic se dimensionează cu un număr de amperspire $k\,(Iw)$ mai mare decît cea mai mare valoare Iw obţinută prin calculul precedent, unde coeficientul de siguranţă $k = 1{,}5 \ldots 2$.

În cazul releului cu solenoid calculul forţei de atracţie asupra părţii mobile care este însuşi miezul, este mult mai complicat. Acest calcul porneşte de la expresia generală a forţei de atracţie:

$$F_a = \frac{I^2}{2}\,\frac{dL}{ds} \qquad (13.13)$$

în care s este coordonata părţii mobile.

Dacă valoarea inductanţei L a bobinei releului este cunoscută pentru diferite poziţii ale părţii mobile, adică relaţia $L = f\,(s)$ care este determinată de obicei experimental, se poate afla valoarea $\frac{dL}{ds}$ pentru o poziţie dată a părţii mobile şi prin urmare şi forţa cu care acţionează cîmpul. Această ecuaţie a fost dedusă presupunînd I constant şi fluxul magnetic proporţional cu intensitatea curentului. În practică determinarea lui $F_a = f\,(s)$ se face experimental.

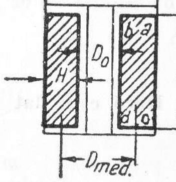


Fig. 22. — Parametrii bobinei releului.

γ) *Înfăşurarea releului* trebuie să asigure f. m.m. necesară pentru producerea forţei de atracţie. În acest scop trebuie determinat diametrul d al sîrmei, numărul spirelor w şi rezistenţa R a înfăşurării. Diferiţii parametri ai bobinei sînt indicaţi în fig. 22 pentru o bobină cu miez rotund (cu suficientă aproximaţie şi pentru miez dreptunghiular). Între aceste dimensiuni există următoarele relaţii practice: $L = (0{,}5 \ldots 3)\,D_{ex}$ şi $D_0 = (0{,}3 \ldots 0{,}5)\,D_{ex}$.

Pentru înfăşurare se întrebuinţează sîrmă de cupru care are rezistivitatea $\rho = 0{,}0175\ \Omega\ \text{mm}^2/\text{m}$ şi mai rar de aluminiu. Diametrul d al conductorilor întrebuinţaţi începe de la 0,05 mm. Diametrul conductorului izolat este $d_1 = (1{,}1 \ldots 1{,}6)\,d$. Pentru izolaţie se întrebuinţează bumbac, hîrtie, mătase sau lac. Înfăşurarea se poate executa fie regulat, pentru $d \geqslant 0{,}35$ mm, fie neregulat, pentru $d < 0{,}35$ mm, pe carcasă din carton sau material plastic. Înfăşurarea se acoperă cu hîrtie de cablu, celofan, bandă de bumbac sau aţă impregnată cu lac izolant. Pentru releele puternice înfăşurările se execută fără carcasă, se înfăşoară cu bandă şi se

impregnează în vid cu parafină sau cu compund special de izolaţie. La o înfăşurare regulată numărul spirelor $w \approx \frac{S_f}{d^2}$, în care $S_f = HL$ este suprafaţa transversală a ferestrei bobinei.

La o înfăşurare neregulată $w = w_0\, S$, unde w_0 se poate calcula cu formula:

$$w_0 = \frac{1}{\alpha d^2 + \beta} \tag{13.14}$$

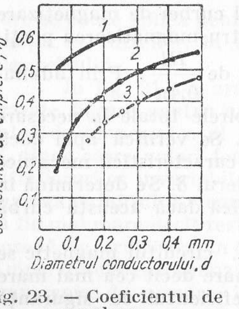


Fig. 23. — Coeficientul de umplere:
1 — izolaţie cu email;
2 — strat de mătase;
3 — bumbac şi hîrtie.

în care pentru izolaţia cu email $\alpha = 1{,}25$, iar $\beta = (0{,}003 - 0{,}0016)$ mm² (valoarea maximă se ia pentru conductoare cu diametre mici). Se mai poate întrebuinţa pentru diametre mici şi coeficientul de umplere f_0 definit prin $\frac{wq}{S_f}$ unde q este secţiunea cuprului conductorului. Curbele f_0 în funcţie de d sînt arătate în fig. 23.

Calculul înfăşurării pleacă de la numărul total de amperspire Iw care s-a ales pentru releu, ţinîndu-se seama de coeficientul de siguranţă ales. La sfîrşit se verifică încălzirea bobinei pentru regimul dat; ea trebuie să fie sub limita admisibilă.

Dacă tensiunea la care este conectat releul este U, atunci

$$(Iw) = \frac{U}{R}\, w \text{ şi deci } d = \sqrt{\frac{4\rho\, l_{med}\,(Iw)}{U\pi}}. \tag{13.15}$$

Diametrul d se rotunjeşte la diametrul superior normalizat. Numărul de spire $w \approx \frac{S_f}{d_1^2}$ pentru $d > 0{,}35$ mm şi $w = w_0\, S_f$ pentru înfăşurarea neregulată $d < 0{,}35$ mm. Rezistenţa se determină cu formula

$$R = \frac{4\rho l_{med}\, w}{\pi d^2}. \tag{13.16}$$

Dacă este dat curentul I în înfăşurare, atunci

$$w = \frac{(I\,w)}{I}\,;\quad d_1 = \sqrt{\frac{S_f}{w}} \quad \text{sau} \quad w_0 = \frac{w}{S_f} \tag{13.17}$$

şi din aceste formule se deduce d şi se calculează R ca mai sus.

De multe ori înfăşurarea releului se conectează în serie cu o rezistenţă dată R_0. În acest caz, U fiind tensiunea de alimentare:

$$(Iw) = \frac{U}{R + R_0} \cdot w = \frac{Uw}{\frac{4\rho l_{med} \cdot w}{\pi d^2} + R_0}, \tag{13.18}$$

în care se introduce, după caz

$$w = \frac{S_f}{d_1^2} \quad \text{sau} \quad w = \frac{S_f}{\alpha d^2 + \beta}.$$

Din ultimele ecuaţii se obţin cîte două valori pentru d şi deci pentru realizarea unei înfăşurări avînd Iw, S_f, R_0 şi l_{med} date se poate alege fie un conductor mai gros şi un număr mai mic de spire, fie un conductor mai subţire cu un număr mai mare de spire.

Pentru a se studia încălzirea bobinei, presupunînd rezistenţa R a înfăşurării constantă, se ţine seama de următoarea relaţie:

$$0{,}24\; I^2 R\, dt = \alpha S_b\,(\theta - \theta_0)\, dt + c\,V\, d\theta, \tag{13.19}$$

în care:

V este volumul înfăşurării:
c — căldura necesară pentru a mări cu 1°C temperatura unui cm³ de înfăşurare;
α — coeficientul de schimb superficial de căldură;
S_b — suprafaţa laterală a bobinei.

Din această ecuaţie rezultă:

$$\theta - \theta_0 = \frac{Q_0}{A}\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right), \tag{13.20}$$

unde $T = \frac{cV}{\mu S}$ este constanta de timp pentru încălzire a bobinei, $A = \alpha S_b$, $Q_0 = 0{,}24\, I^2 R$ şi $\frac{Q_0}{A} = \theta_{max} - \theta_0$ este depăşirea maximă a temperaturii bobinei, pentru $t = \infty$.

Obişnuit se admite o încălzire a înfăşurărilor $\theta_{max} = 85\ldots 90$°C şi temperatura se determină prin variaţia rezistenţei înfăşurării:

$$\theta_{max} = \frac{R_\theta - R_{20}}{\alpha R_{20}} + 20\text{°C}. \tag{13.21}$$

În funcţie de felul izolaţiei variază şi temperatura de încălzire admisibilă a înfăşurării. Durata de serviciu a izolaţiei pentru o temperatură θ_x se determină cu:

$$T_x = T_0 e^{-b\,(\theta_x - \theta_0)}, \tag{13.22}$$

în care:

T_0 este durata normală de serviciu ($T_0 = 85\,000$ h);
θ_0 — temperatura admisibilă de încălzire;
$b \approx 0{,}086$ pentru hîrtie şi bumbac în ulei;
$b \approx 0{,}07$ pentru hîrtie, bumbac şi mică în aer;
$\theta_0 = 105$°C pentru bumbac, mătase şi email în ulei;
$\theta_0 = 90$°C pentru mică cu lianţi organici.

Dacă se notează cu $y = \frac{L}{D_{ex}}$ şi cu $\sigma_0 = \frac{S_b}{P_b}$, în care P_b este puterea bobinei egală cu $0{,}24\; R\, I^2$, atunci pentru

$y < 1$ se ia $\sigma_0 = 8$ cm²/W;
$y \approx 1$ se ia $\sigma_0 = 10$cm²/W;
$y > 1$ se ia $\sigma_0 = 12$ cm²/W.

După ce s-a calculat înfăşurarea, dacă trebuie să lucreze fără întrerupere ($t \geqslant ST$) trebuie să se controleze dacă este îndeplinită condiţia $P_b < \frac{S_b}{\sigma_0}$. Dacă înfăşurarea va lucra intermitent puterea poate fi mărită.

δ) *Timpul de funcționare a releului.* Creșterea curentului în circuitul unui releu cînd se aplică o tensiune U este un fenomen complicat care nu are o reprezentare analitică simplă. Cînd curentul în circuit ajunge la o valoare I_a, la care armătura începe a se mișca, inductanța circuitului care este o funcție de această deplasare și de timp nu se poate exprima analitic. În fig. 24 s-a reprezentat prin curba c, ridicată experimental, variația curentului în funcție de timp.

Armătura începe să se deplaseze în punctul A și mișcarea durează pînă în B. Pentru comparație s-a trasat și curba a care arată creșterea curentului cînd armătura este imobilizată la întrefierul maxim și curba b pentru armătura imobilizată la întrefierul minim.

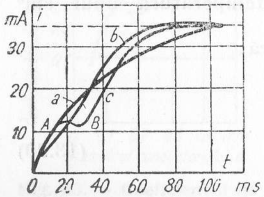


Fig. 24. — Variația curentului în timpul funcționării unui releu.

Timpul de atragere t_a al unui releu se compune din timpul de pornire t_p în care curentul crește de la 0 la I_a (punctul A) și timpul t_m în care se mișcă armătura pînă se închid contactele releului (aproximativ egal cu durata de la A la B).

Dacă pentru curenții mai mici decît I_a, inductanța L a releului poate fi considerată constantă (circuit nesaturat), atunci

$$t_p = \frac{L}{R} \ln \frac{K}{K-1}, \tag{13.23}$$

în care R este rezistența înfășurării releului;

$K = \dfrac{I_m}{I_a}$ — coeficientul de siguranță al releului.

Dacă în afară de înfășurarea principală, releul mai are o înfășurare în scurtcircuit cu w_s spire și cu o rezistență R_s atunci — cu aceleași ipoteze simplificatoare ca mai sus — timpul t_p este

$$t_p = \frac{L}{R}\left(1 + \frac{R}{R_s} \cdot \frac{w_s^2}{w^2}\right) \ln \frac{K}{K-1}.$$

Se vede că acest timp este mai mare decît în cazul precedent; acest fapt este la baza procedeului foarte întrebuințat de a obține prin mijloace electrice relee cu funcționare întîrziată.

Pentru a calcula timpul t_m de deplasare a armăturii se poate aplica metoda grafianalitică a lui N. E. Lisov [1]).

Pentru relee mici conectate direct la o tensiune U, $t_a = (5 \ldots 50)\ 10^{-3}$ s, iar pentru relee mari $(40 \ldots 250)\ 10^{-3}$ s. Timpul de eliberare t_e al releului (timpul de revenire) se socotește din momentul suprimării tensiunii U și pînă la revenirea armăturii în poziția de repaus. Acest timp este $(5 \ldots 10)\ 10^{-3}$ s pentru relee mici (tip telefonic) și $(30 \ldots 300)\ 10^{-3}$ s pentru relee mari (intermediare).

Dacă asemenea relee sînt conectate într-o schemă mai complicată, t_a și t_e se modifică considerabil și în felul acesta se obțin circuite în care releele au un timp de funcționare mai lung. Conectarea în serie cu releul a unei rezistențe

[1]) N. E. Lisov, Calculul mecanismelor electromagnetice, Oboronghiz, 1949.

și în paralel a unei capacități de valori convenabil alese permit să se obțină pentru releele mici $t_a = (15 \ldots 100)\ 10^{-3}$ s și $t_e = (100 \ldots 400)\ 10^{-3}$ s.

Construcția cea mai întrebuințată pentru a se obține relee cu funcționare întîrziată (de maximum cîteva secunde) constă în executarea pe miezul releului a unei înfășurări suplimentare în scurtcircuit, dintr-un conductor masiv de cupru sau dintr-un tub de alamă, cupru sau aluminiu.

Pentru întîrzieri mai mari și reglabile — de la cîteva secunde pînă la zeci de minute — se construiesc relee cu sisteme de orologerie sau cu motoare mici.

14. **Releul electromagnetic de curent alternativ** are aceeași structură ca și releul de curent continuu, fig. 20. Acest tip de releu este cel mai întrebuințat în instalațiile de automatizare, pentru că acestea se execută de cele mai multe ori cu alimentare în curent alternativ. Dacă se întrebuințează relee de curent continuu pentru alimentarea lor este necesar un dispozitiv redresor, ceea ce complică instalația.

α) *Calculul circuitului magnetic.* Pentru circuitul în care se găsește înfășurarea releului se aplică relația:

$$U_M^2 = R^2 I_M^2 + \left(\omega\, B_M\, S w\, 10^{-8}\right)^2, \tag{14.1}$$

în care:

U este amplitudinea tensiunii alternative de alimentare;
B — amplitudinea inducției în miez;
S — secțiunea miezului;
M — reprezintă valorile maxime ale mărimilor respective.

În poziția atrasă a armăturii I_M este mic și se va considera egal cu zero. Pentru acest caz se va lua pentru B_M o valoare maximă B_{Mmax} ținîndu-se seama de caracteristicile magnetice ale materialului miezului. Se va deduce numărul de spire:

$$w = \frac{U_M}{\omega B_{Mmax} S\, 10^{-8}}. \tag{14.2}$$

Numărul specific de spire pe cm² este $\dfrac{w}{S_f}$, în care S_f, suprafața ferestrei, cunoscută din structura geometrică a miezului, se determină la începutul calculului; diametrul conductorului se deduce din tabele. Rezistența înfășurării se calculează cu formula obișnuită, în funcție de lungimea spirei medii.

Se vor da apoi lui B_M valori mai mici B_{M1}, B_{M2} etc. și se va găsi pentru fiecare caz valoarea corespunzătoare a lui I_M cu ajutorul relației:

$$I_M = \frac{1}{R}\sqrt{U_M^2 - (\omega S B_M\, 10^{-8})^2}. \tag{14.3}$$

Ecuația circuitului magnetic, cu aceleași notații ca și în cazul releului de curent continuu va fi:

$$0{,}4\pi\, I_M\, w = (R_a + R_\delta)\, \Phi_\delta + (R_M + R_j)\, \Phi_M. \tag{14.4}$$

Se presupun cunoscute curba $B = f(H)$ și coeficientul $\sigma = \dfrac{\Phi_M}{\Phi_\delta}$. Forța de atracție asupra armăturii este:

$$F_{aM} = \frac{(0{,}4\pi\, I_M\, w_\delta)^2}{8\pi} \cdot \frac{S_\delta}{\delta^2}\ [\text{dyn}]. \tag{14.5}$$

Aceste relații permit calcularea curbei $F_{aM} = f(\delta)$ (fig. 25) pornind de la diferite valori ale inducției în miez B_M și pentru U_M constant.

S-a trasat de asemenea curba lui F_{aM} pentru un releu în serie cu o impedanță mare, astfel încît I_M este aproximativ constant și atunci cînd F_{aM} are o alură asemănătoare cu aceea a releului de curent continuu. Se vede deci că prezența unei impedanțe în serie cu releul modifică caracteristica electromecanică a releului.

Valoarea instantanee a forței de atracție este:

$$F_a = \frac{1}{2} F_{aM}(1 - \cos 2\omega t). \qquad (14.6)$$

În cursul unei perioade forța de atracție va fi mai mică în două intervale decît forța rezistentă și deci se vor produce vibrații ale armăturii și distrugerea axului ei. Pentru înlăturarea acestui neajuns se creează forțe de atracție defazate care acțio-

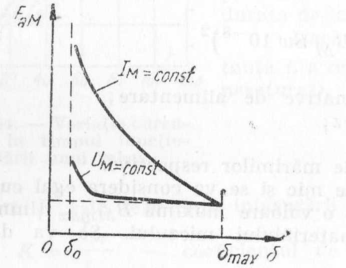


Fig. 25. — Caracteristica electromecanică a unui releu de curent alternativ.

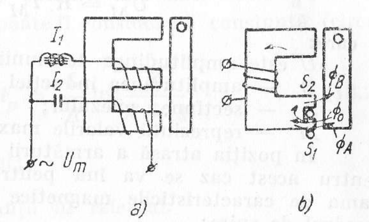


Fig. 26. — Eliminarea vibrațiilor la releele de curent alternativ.

nează asupra armăturii. În fig. 26 *a* acest lucru se obține prin două înfășurări independente, producînd fluxuri defazate cu aproximativ 90°. Forța de atracție asupra armăturii va fi:

$$F_a \approx F_{a1M} \sin^2 \omega t + F_{a2M} \sin^2 \left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \qquad (14.7)$$

și dacă $F_{a1M} \approx F_{a2M}$, F_a este aproximativ constant.

Metoda cea mai întrebuințată este însă acea din fig. 26 *b*.

Capătul miezului este tăiat în două părți, de suprafață S_1 și S_2 prin care trec fluxurile Φ_1 și Φ_2. Dacă suprafața S_1 este înconjurată cu o spiră în scurtcircuit, f.e.m. indusă de fluxul Φ_1 dă naștere unui curent și unui flux Φ_0. Fluxul rezultant Φ_A în secțiunea S_1 va fi diferența între fluxurile Φ_1 și Φ_0 iar fluxul rezultant Φ_B în secțiunea S_2 va fi suma fluxului Φ_2 și o parte din fluxul Φ_0. În felul acesta se obțin fluxurile rezultante Φ_A și Φ_B, decalate între ele cu un unghi ψ. Forța de atracție totală asupra armăturii va fi aproximativ:

$$F_a = \frac{\Phi_{Am}^2}{8\pi S_1} \cdot \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) + \frac{\Phi_{Bm}^2}{8\pi S_2} \cdot \frac{1}{2}[1 - \cos 2(\omega t + \psi)].$$

Prin alegerea raportului dintre S_1 și S_2 și a dimensiunilor spirei în scurtcircuit se poate obține o forță rezultantă care să fie tot timpul mai mare decît forța rezistentă.

Circuitul magnetic al unui releu de curent alternativ se formează cu plăci ștanțate din tablă de transformator sau din alt material magnetic cu pierderi mici.

β) *Înfășurarea releului* de curent alternativ se calculează analog cu aceea a releului de curent continuu [13—β].

15. **Releul polarizat** cuprinde în circuitul său magnetic și un magnet permanent. În tipul de releu polarizat din fig. 27 părțile principale sînt bobinele *1* și *2* care creează în circuitul magnetic *3* fluxul de comandă Φ_c și magnetul permanent *4* care creează fluxul magnetic Φ_0. Deplasarea armăturii *5* se limitează cu ajutorul contactelor reglabile *6*. Direcția de mișcare a armăturii depinde de sensul curentului de comandă. Caracteristicile acestor relee sînt: sensibilitate mare, funcționare rapidă, coeficient mare de comandă, sensibilitate la schimbarea sensului semnalului de comandă. Cînd prin bobinele *1* și *2* nu trece un semnal de comandă și armătura este în poziție medie, verticală, forța rezultantă care acționează asupra ei este zero. Această poziție de echilibru nu este însă stabilă și armătura se fixează în poziția din stînga sau dreapta. În poziția din fig. 27, dacă $\Delta\Phi$ este variația fluxului cînd armătura s-a deplasat din poziția mediană și Φ_1 și Φ_2 sînt fluxurile spre stînga și spre dreapta, forța rezultantă F_0 asupra armăturii este:

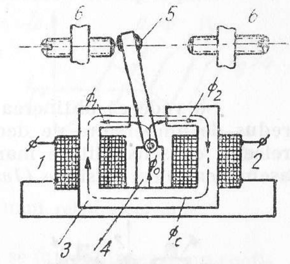


Fig. 27. — Releu polarizat.

$$F_0 = F_{st} - F_{dr} = \frac{\Phi_1^2 - \Phi_2^2}{8\pi S} = \frac{2\Phi_0 \Delta\Phi}{8\pi S} \qquad (15.1)$$

în care Φ_0 este fluxul total produs de magnetul permanent;
S — secțiunea întrefierului.

Această forță, care dă presiunea de contact a releului în repaus, se poate calcula neglijîndu-se reluctanța circuitelor de oțel; se obține:

$$F_0 = \frac{\Phi_0^2 \, 2x_0}{8\pi S \delta}, \qquad (15.2)$$

în care δ este întrefierul iar x_0 — distanța dintre contact și axa medie.

Pentru releele polarizate obișnuite $F_0 = 0{,}5...5$ gf. Această forță depinde de pătratul fluxului produs de magnetul permanent și de deplasarea x_0 a armăturii față de axa neutră, adică de reglajul releului.

Dacă prin înfășurarea releului trece un semnal de comandă cu o polaritate care creează fluxul Φ_c în sensul săgeții și de valoare mai mare decît fluxul $\Delta\Phi$ care provoacă apăsarea armăturii pe contactul din stînga, armătura va trece pe contactul din dreapta. Dacă releul va primi un semnal de comandă de polaritate schimbată, armătura va reveni din nou pe contactul din stînga. Condiția de declanșare a releului este ca fluxul de comandă $\Phi_c > \Delta\Phi$. Valoarea fluxurilor din stînga și din dreapta este:

$$\Phi_{st} = \frac{\Phi_0}{2} + \Delta\Phi - \Phi_c;$$

$$\Phi_{dr} = \frac{\Phi_0}{2} - \Delta\Phi + \Phi_c;$$

cum $\Phi_{dr} > \Phi_{st}$, forța F aplicată armăturii o va deplasa pe contactul din dreapta.

În această poziţie $\Delta\Phi$ schimbă de semn şi dacă $\Phi_c \approx \Delta\,\Phi$, presiunea rezultantă pe contact F este:

$$F = \frac{\Phi_{dr}^2 - \Phi_{st}^2}{8\,\pi\,S} = 2\,F_0\,, \tag{15.3}$$

adică de două ori mai mare decît pentru releul în repaos. Aceasta explică faptul că releele polarizate comandate cu puteri mici pot comanda la rîndul lor circuite electrice cu puteri relativ mari. Funcţionarea rapidă a releului este datorită faptului că după trecerea poziţiei neutre de către armătură forţa de atracţie creşte rapid.

Amperspirele necesare pentru atragerea unui releu polarizat sînt date de:

$$(Iw)_d = \frac{\Phi_0}{0{,}4\,\pi\,S}\,x_0. \tag{15.4}$$

Se vede că obţinerea unei presiuni mari de contact (x_0 mare) şi un număr redus de amperspire de declanşare sînt condiţii contradictorii. De aceea contactele releelor cu sensibilitate mare se execută pentru presiuni de contact mici. Pentru asemenea relee sensibile $(Iw)_d = 2\ldots 8$ A.sp şi $t_a = (1\ldots 3)\,10^{-3}$ s. De exemplu releul polarizat sovietic Pπ-4 poate suporta 200 operaţii pe secundă, are 1,5–2,5 Asp, distanţa între contact şi armătură 0,05 mm, presiunea de contact de repaos 1 gf, contacte din argint pentru 24 V şi 0,2 A.

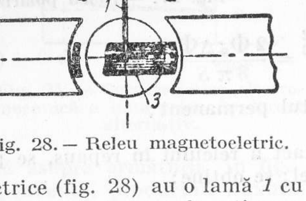


Fig. 28. – Releu magnetoeletric.

16. **Relee magnetoelectrice** se întrebuinţează unde este necesară o mare sensibilitate. Principiul lor de funcţionare cum şi construcţia lor este aceeaşi ca şi a aparatelor de măsură cu magnet permanent şi bobină mobilă (vol. I, cap. Măsurători electrice şi magnetice, subcap. D). În locul acului indicator, releele magnetoelectrice (fig. 28) au o lamă *1* cu contacte *2* fixate la extremitatea ei. Cînd sistemul mobil *3* se roteşte sub acţiunea curentului care trece prin bobină, contactul *2* se presează pe unul din contactele fixe *4* şi închide un circuit, de obicei al unui releu intermediar. Forţa de contact care se poate asigura cu asemenea relee este de 0,3–1 gf. Aceste relee se întrebuinţează în curent continuu; pentru întrebuinţare în curent alternativ trebuie introdusă o redresare. Releele se construiesc pentru tensiuni sub 12 V şi pentru curenţi sub 0,05 A. Curenţii care provoacă funcţionarea acestor relee sînt de obicei de ordinul 10^{-3} A, iar puterile necesare pentru funcţionarea lor de $10^{-8}-10^{-3}$ W. Contactele acestor relee se fac din platină cu iridiu şi pot suporta o putere de ordinul 0,1–1 W. Timpul lor de funcţionare este relativ mare 0,1–2 s.

17. **Relee electronice** se numesc dispozitivele care consistă dintr-un releu electromagnetic obişnuit sau un alt dispozitiv de execuţie conectat în circuitul anodic al unui tub electronic cu trei electrozi care îndeplineşte funcţia de amplificator (fig. 29). Prezenţa amplificatorului permite să se întrebuinţeze puteri de comandă de ordinul $10^{-8}-10^{-12}$ W pentru a se obţine în circuitul anodic $10^{-3}-10^{-2}$ W. Tubul electronic este practic fără inerţie, avînd un timp de funcţionare de ordinul $10^{-8}-10^{-9}$ s. Din această cauză timpul de funcţionare al unui releu electronic este determinat de timpul de funcţionare al releului electromagnetic. În schemele cu relee electronice se aplică pe grila tubului o tensiune U_{g0} aleasă astfel încît curentul anodic corespunzător să fie mai mic decît curentul i_{ra} la care funcţionează releul electromagnetic. Prin închiderea contactului de comandă sau în alt mod se

aplică la bornele rezistenţei de grilă R_g o tensiune pozitivă U_{gc} suficient de mare pentru ca curentul anodic să crească peste valoarea i_{ra} şi deci releul va funcţiona. Dacă se deschide contactul K se va întrerupe aplicarea tensiunii U_{gc}, curentul anodic va scădea sub valoarea i_{ra} şi releul va reveni în poziţia de repaos întrerupînd circuitul de comandă. Pentru aceste scheme alegerea tubului electronic se face ţinînd seama de următoarele:

– tubul electronic trebuie să furnizeze maximum de putere releului electromagnetic, deci rezistenţa internă a tubului R_i trebuie să fie cît mai apropiată de rezistenţa R_a a releului;

– curentul anodic I_a al tubului electronic, ţinînd seama de un coeficient de siguranţă de 1,5 pentru funcţionarea releului, va trebui să fie $I_a > 1{,}5\ i_{ra}$.

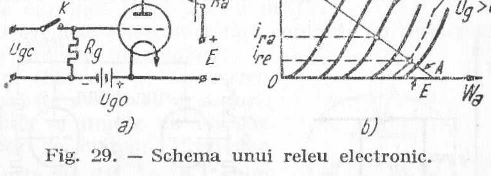


Fig. 29. – Schema unui releu electronic.

Pe baza parametrilor din cataloage se alege un tub electronic cît mai corespunzător. Pentru determinarea tensiunii de grilă U_{gc} de eliberare se face construcţia din fig. 29 *b*. Dacă curentul de eliberare al releului este i_{re}, se consideră pentru această determinare un curent de eliberare 0,8 i_{re}, adică se întrebuinţează un coeficient de siguranţă de 1,25. Pe figură s-au trasat caracteristicile anodice ale tubului electronic şi dreapta $I_a = \frac{E - U_a}{R_a}$. Prin interpolare se determină tensiunile de grilă U_{ga} şi U_{ge}. Se poate impune ca $U_{ga} = 0$ în care caz este necesar ca $E > I_{a\,max}\,(R_a + R_i)$.

Pentru tipurile industriale de relee electronice se foloseşte alimentarea integrală de la o reţea de curent alternativ.

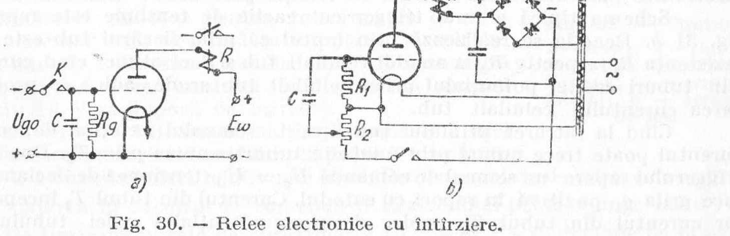


Fig. 30. – Relee electronice cu întîrziere.

Principalul inconvenient al releelor electronice este durata de funcţionare relativ redusă a tubului electronic, care este de aproximativ 3000 h mai rar 3000–5000 h.

Relee electronice cu întîrziere. Schema cea mai simplă pentru aceste relee este dată în fig. 30 *a*. Întîrzierea se obţine prin conectarea unui condensator C şi a unei rezistenţe R_g în circuitul grilei. La deschiderea contactului K dispare tensiunea U_{g0} şi tensiunea de grilă va varia după expresia:

$$U_g = U_{g0}\, e^{-\frac{t}{CR_g}}. \tag{17.1}$$

Releul R va funcţiona cînd curentul anodic I_a, care creşte cînd potenţialul negativ aplicat grilei scade, ajunge la valoarea i_{ra} care provoacă funcţionarea releului. Dacă U_{ga} este valoarea corespunzătoare lui i_{ra}, atunci timpul de funcţionare al releului este dat de

$$t_{ra} = C R_g \ln \frac{U_{g0}}{U_{ga}}. \quad (17.2)$$

Se recomandă ca R_g să nu fie mai mare de 5—10 M Ω iar C să nu fie mai mare decît 10—20 μF. Cu aceste valori maxime t_{ra} este de aproximativ 10 s. Modificînd pe U_{g0} şi pe CR_g se poate obţine uşor valoarea necesară pentru t_{ra}. Trebuie să se aibă în vedere ca raportul între valoarea finală a lui I_a şi i_{ra} să nu fie mai mic decît 1,5—2, deoarece altfel s-ar produce variaţii mari ale timpului de funcţionare t_{ra}, la variaţii mici ale parametrilor schemei.

Cel mai des în releele electronice normale şi cu întîrziere se foloseşte o alimentare totală în curent alternativ. În fig. 30 *b* este arătată schema unui releu electronic cu întîrziere alimentat în acest fel.

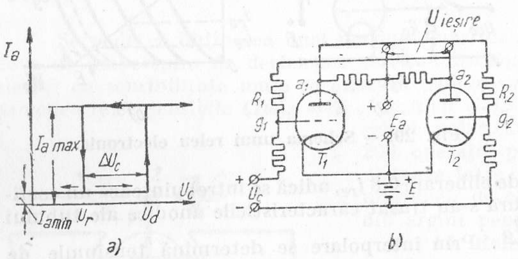


Fig. 31. — Releu electronic fără contacte (trigger) cu reacţie de tensiune.

18. Relee electronice fără contacte (triggere). Cînd dispozitivul electronic îndeplineşte funcţia de releu fără contacte, este necesară o creştere prin salt a curentului I_a în raport cu tensiunea de comandă U_c, de la valoarea minimă $I_{a\,min}$ la valoarea maximă $I_{a\,max}$, cum se arată în diagrama din fig. 31 *a*.

Aceste funcţiuni ale unui releu electronic sînt îndeplinite de două tuburi electronice montate într-o schemă cu reacţie pozitivă de tensiune sau de curent.

Schema tipică a unui trigger cu reacţie de tensiune este reprezentată în fig. 31 *b*. Reacţia se realizează prin faptul că grila fiecărui tub este legată prin rezistenţa R_1 respectiv R_2 la anodul celuilalt tub şi deci atunci cînd curentul unuia din tuburi creşte, potenţialul grilei celuilalt tub scade, adică se produce micşorarea curentului celuilalt tub.

Cînd la intrarea primului tub lipseşte semnalul exterior de comandă U_c, curentul poate trece numai prin unul din tuburi, anume prin T_2. Dacă la intrarea triggerului apare un semnal de comandă $U_c = U_d$ (tensiunea de declanşare), acesta face grila g_1 pozitivă în raport cu catodul. Curentul din tubul T_1 începe să crească, iar curentul din tubul T_2 scade, deoarece potenţialul grilei tubului T_2 scade.

Micşorarea curentului din T_2 duce la creşterea potenţialului punctului a_2 şi deci a potenţialului grilei primului tub. Curentul din tubul T_1 continuă să crească, iar a celui din T_2 să scadă. Aceasta continuă pînă cînd curentul din primul tub ajunge la valoarea maximă, iar cel din tubul al doilea la valoarea minimă.

Pentru readucerea triggerului în situaţia iniţială se cere ca tensiunea de comandă să devină mai mică decît U_d, cel puţin cu valoarea ΔU_c, indicată pe diagrama din fig. 31 *a*. Tensiunea U_r se numeşte tensiune de revenire.

Trecerea de la regimul de declanşare la regimul de revenire poate fi realizată nu numai prin micşorarea tensiunii de comandă pînă la U_r, dar şi prin schimbarea valorii rezistenţelor R_1 şi R_2 din circuitele de grilă, ceea ce se realizează în schemele cu celulă fotoelectrică.

Dacă sursa semnalului de intrare are o rezistenţă internă mare, cum este cazul celulelor fotoelectrice, triggerul nu funcţionează întotdeauna precis şi în locul saltului aproape instantaneu de curent, are loc o creştere în trepte mici. În asemenea cazuri, triggerul cu reacţie de curent funcţionează mai bine.

Există multe scheme de relee electronice fără contacte. Toate se bazează pe introducerea reacţiei pozitive în circuitul tubului electronic care lucrează. Aceste relee electronice funcţionează practic fără inerţie, creşterea curentului pînă la valoarea maximă făcîndu-se într-un timp de ordinul microsecundelor; ele necesită o putere de comandă de 10^{-6}—10^{-9} W şi au un coeficient de comandă de aproximativ 10^8, adică o putere la ieşire de 10^{-1}—10^2 W. În afară de valoarea tensiunii de declanşare U_d şi a celei de revenire U_r, funcţionarea unui trigger se apreciază şi după panta lui, care este dată de raportul dintre $(I_{a\,max} - I_{a\,min})$ şi $(U_d - U_r)$. Această pantă este cuprinsă între 0,5—2 mA/V.

Datorită acestor caracteristici releele electronice fără contacte au numeroase întrebuinţări în automatizările de procese tehnologice.

19. Relee şi regulatoare cu tiratron. α) *Descrierea generală a tiratronului.* [1]) Tiratronul este un tub cu următorii electrozi: catod, anod şi grilă. Tubul se umple cu un gaz inert (neon, argon etc.) sau cu vapori de mercur. Presiunea gazului sau a vaporilor de mercur este de 10^{-4}—10^{-2} mm col. mercur. Catodul tiratronului se construieşte pentru curenţi de emisie mai mari decît la tuburile electronice. (fig. 32).

Tensiunea între anod şi catod U_a şi între grilă şi catod U_g creează un cîmp electric rezultant între grilă şi catod, cum şi un curent anodic electronic. Cînd viteza electronilor atinge o anumită valoare, începe procesul de ionizare a gazului din tiratron, producînd într-un interval de 10^{-5}—10^{-4} s o creştere bruscă a curentului între anod şi catod de la $I_a \approx 0$ la $I_a = I_{a1}$, determinat de parametrii circuitului anodic (tiratronul s-a « aprins »). Din acest moment grila tiratronului pierde proprietatea de a comanda curentul circuitului anodic. Pentru întreruperea (« stingerea ») tiratronului este necesară întreruperea circuitului anodic sau micşorarea tensiunii anodice pînă sub o anumită valoare, corespunzătoare tensiunii de ionizare a gazului (aproximativ 18 V la vaporii de mercur).

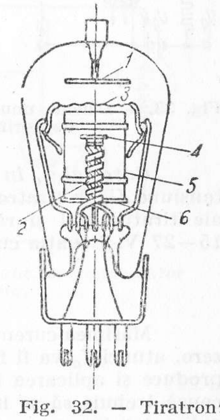


Fig. 32. — Tiratron: *1* — anod; *2* — catod; *3* — grilă; *4* — ecranul de sus; *5* — ecranul lateral; *6* — ecranul de jos.

Pentru că curentul anodic al tiratronului este mai mare decît al tubului electronic, tiratronul poate fi întrebuinţat pentru a comanda puteri relativ mai mari. Pentru o putere de intrare de ordinul a 10^{-3}W, puterea în circuitul de comandă al tiratronului poate ajunge la 10^3 W.

Inerţia tiratronului este de aproximativ 10^{-6}—10^{-5} s şi depinde de dimensiunile tiratronului, de presiunea gazului, de potenţialul grilei şi de rezistenţa în circuitul grilă — catod. De obicei timpul de stingere al tiratronului este cuprins între 10^{-5}—10^{-3} s. Creşterea rezistenţei din circuitul grilei măreşte timpul de stingere. Aceste caracteristici arată că, în afară de cazul tensiunilor cu o frecvenţă foarte mare, tiratronul poate fi socotit ca fără inerţie. Tiratronul are în prezent întrebuinţări foarte variate în automatică.

β) *Caracteristicile tiratronului. Caracteristica de aprindere* arată legătura dintre tensiunea anodică U_a şi tensiunea de grilă de aprindere U_{ga}. Aceasta din

[1]) v. şi vol. III cap. II § 145.

urmă este tensiunea la care se produce aprinderea pentru o anumită tensiune anodică U_a a tiratronului.

În fig. 33 *a* este arătată schema unui releu cu tiratron şi în fig. 33 *b* caracteristica lui de aprindere.

Această caracteristică este curbă pe porţiunea *AB* şi dreaptă pe porţiunea *BC*. De obicei punctul de funcţionare al tiratronului se găseşte pe porţiunea *BC* şi ţinînd seamă de aceasta, caracteristica de aprindere se poate exprima pentru calculele matematice prin următoarea expresie:

$$U_{ga} = U_{gao} + DU_a, \tag{19.1}$$

în care $D = \dfrac{\Delta U_{ga}}{\Delta U} = \text{tg}\,\gamma$ este denumit coeficientul de comandă al tiratronului.

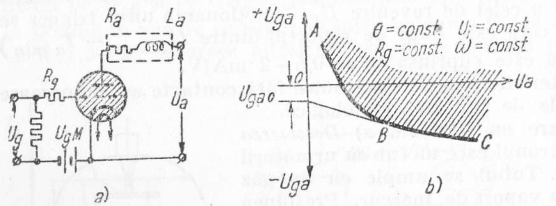


Fig. 33. – Schema unui releu cu tiratron şi caracteristica de aprindere a tiratronului.

Poziţia caracteristicii de aprindere se modifică puţin dacă oscilează tensiunea de incandescenţă U_i care produce curentul de încălzire al catodului sau dacă oscilează temperatura gazului din tiratron.

Curentul I_a în circuitul anodic al tiratronului. După aprindere, căderea de tensiune U_0 în tiratron nu depinde de curentul anodic, în limitele normale de lucru ale tiratronului şi rămîne aproape constantă pentru un anumit tiratron, între 15–27 V. Ecuaţia curentului anodic pentru un tiratron aprins este:

$$I_a = \frac{U_a - U_0}{R_a}. \tag{19.2}$$

Mărimea curentului anodic se reglează cu rezistenţa R_a. Dacă R_a este aproape zero, atunci I_a va fi foarte mare şi catodul se va deteriora repede. Un efect analog produce şi aplicarea tensiunii anodice înainte de încălzirea catodului. Din această cauză trebuie să se încălzească mai întîi catodul timp de 1–2 min şi apoi să se aplice tensiunea anodică printr-o rezistenţă R_a, suficient de mare pentru ca I_a să fie sub valoarea maximă admisibilă.

Parametrii principali pentru cîteva tipuri de tiratroane de fabricaţie sovietică sînt daţi în tabela 3.

Tabela 3. Parametri principali pentru tiratroane de fabricaţie sovietică

Tipul / Parametrul	ТГ–103	ТГ–160	ТГ–205	ТГ–212	ТГ–885	ТГП–0,1/0,3
Tensiunea de incandescenţă, în V	2,5	2,5	2,5	4	2,5	6,3
Curentul de incandescenţă, în A	1,4	5	9	2,25	1,4	0,6
Valoarea maximă a tensiunii aplicate, în V	250	1000	1000	300	300	300
Valoarea medie a curentului anodic, în A	0,1	0,35	0,5	0,125	0,1	0,075
Căderea de tensiune în tiratron, în V	16	16	15–18	27	16	16

γ) *Funcţionarea tiratronului cu tensiune anodică continuă.* Schema tipică pentru acest caz este arătată în fig. 33 *a*. În fig. 34 s-au trasat caracteristicile de aprindere $U_{ga} = f\,(U_a)$ pentru oscilaţiile maxime: $\pm\,\Delta U_i$ ale tensiunii de incandescenţă şi $\pm\,\Delta\theta$ ale temperaturii gazului din tiratron.

Ţinînd seama de oscilaţiile maxime $U_a \pm \Delta U_a$ ale tensiunii anodice se obţin punctele limită de funcţionare *M* şi *N*. Dacă se adaugă 0,5–1,0 V pentru a ţine seamă de variaţiile accidentale ale parametrilor tiratronului, se obţin punctele *K* şi *L*. Valoarea U_{gL} este tensiunea negativă minimă de grilă, iar $U_{gK} - U_{gL}$ este impulsul minim de tensiune pe grilă necesar pentru a declanşa tiratronul. Durata impulsului t_x trebuie să fie mai mare decît timpul de aprindere t_a al tiratronului. După aprindere, se poate scrie următoarea ecuaţie pentru circuitul anodic al tiratronului:

$$U_a - U_0 = i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt} \tag{19.3}$$

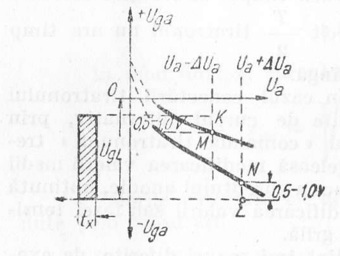


Fig. 34.–Funcţionarea tiratronului cu tensiune anodică continuă.

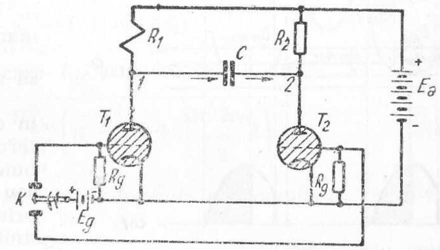


Fig. 35. – Releu cu tiratroane, cu condensator de inversare.

din care rezultă:

$$i_a = \frac{U_a - U_0}{R_a}\left[1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right], \tag{19.4}$$

unde $\tau = \dfrac{L_a}{R_a}$ este constanta de timp a circuitului anodic. După un timp $t \approx 5\,s\tau$, curentul anodic se stabileşte la valoarea

$$I_a = \frac{U_a - U_0}{R_a}.$$

Este imposibil să se comande stingerea tiratronului variind tensiunea grilei. Este necesar pentru a obţine aceasta să se întrerupă circuitul anodic sau să se reducă pînă la $U_a < U_0$ tensiunea U_a din circuitul anodic. În primul caz se introduce în circuitul anodic contactul unui releu care este întrerupt la momentul necesar. Această metodă este dezavantajoasă pentru că necesită prezenţa unui releu puternic pentru a întrerupe circuitul anodic.

La o altă metodă pentru stingerea tiratronului, se întrebuinţează un ansamblu de două tiratroane, din care unul de putere mică. În fig. 35 se indică o schemă de acest fel, întrebuinţată în automatică.

Schema nu este economică, pentru că tiratronul T_2 rămîne aprins în intervalele de nefuncţionare ale tiratronului principal T_1 şi din această cauză s-au conceput scheme care înlătură şi acest inconvenient.

δ) *Funcţionarea tiratronului cu tensiune anodică alternativă.* Acest fel de funcţionare a tiratronului este cel mai răspîndit. Stingerea tiratronului se realizează uşor, pentru că la fiecare perioadă tensiunea anodică are o valoare negativă pe durata unei semiperioade şi tiratronul se stinge dacă se suprimă potenţialul de grilă. Curentul anodic este format din impulsuri de frecvenţă f. Posibilitatea întrebuinţării unei tensiuni alternative de frecvenţă mare pentru alimentarea circuitului anodic depinde de parametrii tiratronului (timpul de stingere) şi ai circuitului anodic R_a şi L_a. Dacă $L_a = 0$ atunci timpul de stingere t_{di} va fi

$$t_{di} < \frac{T}{2} \text{ sau } t_{di} < \frac{1}{2f}. \qquad (19.5)$$

Dacă timpul de stingere este mai mare decît $\frac{T}{2}$ tiratronul nu are timp să se stingă.

În cazul conectării tiratronului în circuite de curent alternativ, prin termenul «comanda tiratronului» trebuie înţeleasă modificarea valorii medii sau eficace a curentului anodic, obţinută prin modificarea valorii sau fazei tensiunii de grilă.

Sînt trei cazuri diferite de examinat pentru comanda tiratronului.

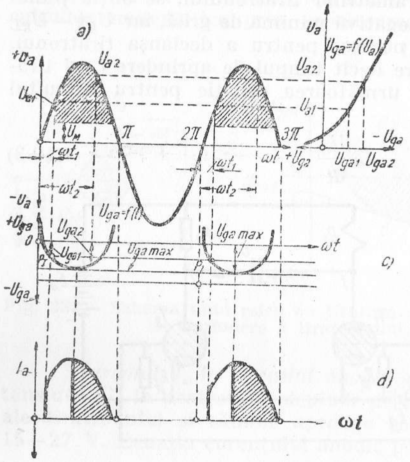


Fig. 36. — Comanda tiratronului cu tensiune anodică alternativă şi tensiune de grilă continuă.

Comanda tiratronului cu ajutorul unei tensiuni continue în circuitul grilei, variabilă după necesitate. U_g = variabil. Tensiunea anodică este

$$u_a = U_{am} \sin \omega t. \quad \text{(fig. 36 } a) \qquad (19,6)$$

Caracteristica de aprindere a tiratronului $U_{ga} = f(U_a)$ este trasată în fig. 36 *b*.

La momentul t_1, corespunde unghiul ωt_1, tensiunea anodică U_{a1} şi tensiunea de grilă de aprindere U_{ga1}. Repetînd construcţia pentru diferite momente din semiperioada cu u_a pozitiv se obţine prin puncte curba $U_{ga} = f(\omega t) = f(t)$, în fig. 36 *c*.

Curba din fig. 36 *d* reprezintă $i_a = f(\omega t)$; partea haşurată cuprinde intervalul de funcţionare a tiratronului pentru cea mai mare tensiune negativă de grilă, corespunzătoare în valoare absolută cu u_a maxim. Pentru acest caz, impulsul de curent anodic are o durată $\frac{\pi}{2\omega}$. Dacă U_g creşte, punctul de aprindere trece pe partea din stînga a curbei din fig. 36 *c* şi durata impulsului de curent anodic creşte pînă la $\frac{\pi}{\omega}$. Curentul i_a care trece prin tiratron este determinat de

$$i_a = \frac{U_{am} \sin \omega t - U_0}{R_a} \text{ pentru } L_a = 0, \qquad (19.7)$$

în care U_0 este tensiunea constantă între anod şi catod după aprinderea tiratronului. De obicei interesează valoarea medie I_{a0} şi valoarea I_{ae} eficace a curentului anodic. Rezultă:

$$I_{a0} = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega t_1}^{\omega t_2} i_a \, d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega t_1}^{\pi} i_a \, d(\omega t). \qquad (19.8)$$

ωt_1 corespunde momentului t_1, cînd se aprinde tiratronul, iar ωt_2 momentului t_2 cînd tiratronul se stinge $[u_a < U_0]$.

Pentru că U_0 este foarte mic, se consideră în loc de ωt_2 valoarea π.

Calculînd integrala se obţine:

$$I_{a0} = \frac{U_{am}}{2\pi R_a} \left[1 + \cos \omega t_1 - \frac{U_0}{U_{am}} (\pi - \omega t_1) \right]; \qquad (19.9)$$

pentru că $U_{am} \gg U_0$ se poate considera

$$I_{a0} \approx \frac{U_{am}}{2\pi R_a} (1 + \cos \omega t_1). \qquad (19.10)$$

În mod analog, curentul eficace I_{ae} este dat de:

$$I_{ae} \approx \sqrt{\frac{1}{4\pi} \frac{U_{am}^2}{R_a^2} \left(\pi - \omega t_1 + \frac{\sin 2\omega t_1}{2} \right)}. \qquad (19.11)$$

Valorile calculate cu ajutorul acestor formule corespund cu valorile obţinute prin măsurări.

În fig. 37 s-au trasat curbele $\frac{I_a}{I_{a\,max}}$ pentru curentul anodic mediu (curba *1*) şi pentru curentul anodic eficace (curba *2*) în funcţie de tensiunea de grilă de aprindere U_{ga}.

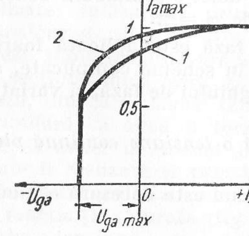


Fig. 37. — Curbele $\frac{I_a}{I_{a\,max}}$ în funcţie de U_{ga}

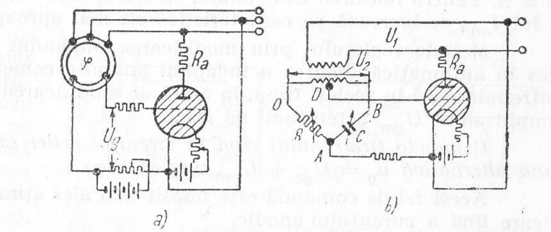


Fig. 38. — Dispozitive pentru modificarea fazei tensiunii de grilă.

Comanda tiratronului cu ajutorul unei tensiuni de grilă alternative $u_g = U_{gm} \sin(\omega t + \varphi)$. În acest caz momentul de aprindere a tiratronului, cum şi valorile curentului anodic, mediu şi eficace, depind atît de amplitudinea U_{gm} a tensiunii alternative de grilă, cît şi de unghiul de fază φ faţă de tensiunea anodică. În fig. 38 *a* şi *b* sînt arătate două dispozitive întrebuinţate pentru modificarea fazei tensiunii de grilă.

Primul dispozitiv (fig. 38 *a*) este un regulator de fază obişnuit, care poate fi format dintr-un motor asincron cu rotorul calat. În dispozitivul al doilea (fig. 38 *b*) modificarea fazei se obţine prin schimbarea parametrilor circuitului secundar al transformatorului, adică a rezistenţei R şi a capacităţii C (sau a unei inductanţe L).

Construindu-se diagrama vectorială, se deduce că:

$$\varphi = \pi - 2 \operatorname{arc\,tg} \frac{1}{\omega C R}.$$

După cum se vede în fig. 39, unghiul de aprindere al tiratronului depinde de unghiul φ şi de obicei se poate lua $\omega t_1 \approx \varphi$. Valorile medii şi eficace ale curen-

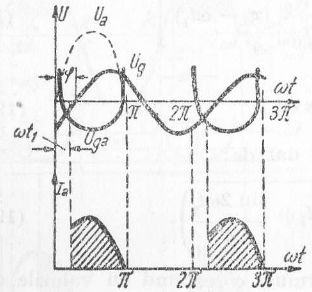


Fig. 39. — Relaţie între ungiul φ şi unghiul de aprindere.

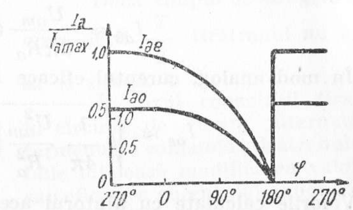


Fig. 40. — Curbele I_a în funcţie de φ pentru curentul mediu I_{a0} şi eficace I_{ae}.

tului anodic depind de ωt_1 şi se vor modifica o dată cu φ, adică cu R şi C. Curbele de variaţie respective sînt indicate în fig. 40. Pentru necesităţi de reglaj continuu, de exemplu în regulatoare, se întrebuinţează curba $I_{ao} = f(\varphi)$ între $\varphi = 0$ şi $\varphi \approx \pi$. Pentru folosirea tiratronului ca releu, cînd este de dorit o schimbare bruscă a lui I_{a0}, se lucrează pe caracteristică cît mai aproape de $\varphi = \pi$.

Metoda reglajului prin modificarea unghiului de fază este aplicată foarte des în automatică. Pentru a îndeplini anumite comenzi în scheme complicate, se întrebuinţează în acelaşi timp, în afară de modificarea unghiului de fază, şi variaţia amplitudinii U_{gm} a tensiunii de grilă.

Comanda tiratronului cînd în circuitul grilei există o tensiune continuă plus una alternativă $u_g = U_{gc} + U_{gm} \sin(\omega t + \varphi)$.

Acest fel de comandă este folosit mai ales atunci cînd este necesară o modificare lină a curentului anodic.

Sînt posibile două variante:

— cînd tensiunea alternativă are unghiul $\varphi = \varphi_0$ constant în timpul procesului de lucru şi comanda tiratronului se face prin modificarea mărimii tensiunii continue U_{gc} din circuitul grilei;

— cînd valoarea tensiunii continue din circuitul grilei este constantă şi se modifică faza tensiunii alternative. În acest caz tensiunea alternativă are de obicei o formă cu vîrf.

În fig. 41 *a* este dată o schemă de comandă care realizează prima variantă. Tensiunea alternativă se obţine cu ajutorul regulatorului de fază, care aplică o tensiune alternativă cu un unghi de defazare φ_0 stabilit.

Dacă se măreşte componenta constantă U_{gc} a tensiunii de grilă se micşorează unghiul de aprindere, adică se măreşte timpul în care circulă curentul anodic. Avantajul acestui fel de comandă constă în posibilitatea de a obţine diferite legi de modificare a valorii medii a curentului anodic în funcţie de variaţia tensiunii constante din circuitul grilei.

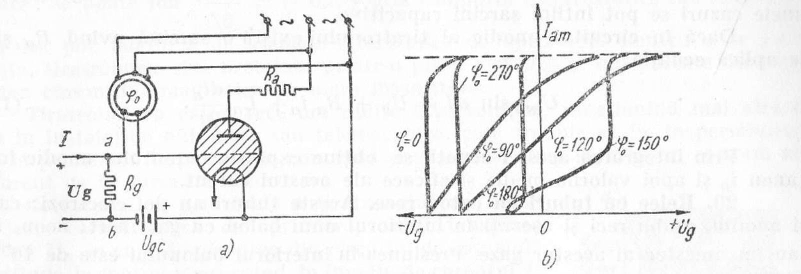


Fig. 41. — Comanda tiratronului cu φ_0 constant: *a* — schema; *b* — curentul anodic mediu în funcţie de tensiunea grilei pentru diferite valori ale lui φ.

Pentru aceasta trebuie date diferite valori unghiului de defazare φ_0 al tensiunii alternative din circuitul grilei.

În fig. 41 *b* sînt arătate curbele după care variază curentul anodic mediu al tiratronului, în funcţie de valoarea tensiunii constante din circuitul grilei şi pentru diferite unghiuri de defazare φ_0.

În fig. 42 este dată o schemă de comandă care realizează varianta a doua.

Cu ajutorul regulatorului de fază se modifică faza tensiunii aplicate înfăşurării primare a transformatorului *Tr* (fig. 42 *a*). Acest transformator are un miez cu secţiune mică care se saturează, din care cauză tensiunea secundară va avea o formă cu vîrf. O astfel de formă cu vîrf poate fi realizată şi prin legarea în circuitul grilei a unei bobine de reactanţă saturate (fig. 42 *b*). Curba tensiunii de grilă cu vîrf $u_g = f(\omega t)$ şi valoarea unghiului de aprindere θ pentru unghiul

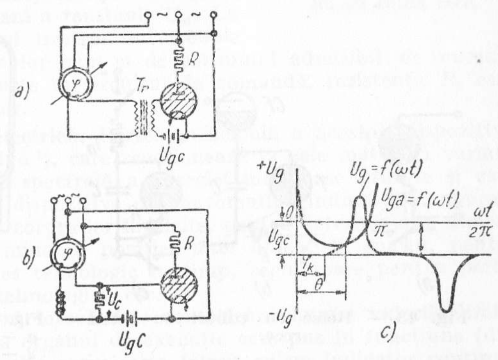


Fig. 42. — Comanda tiratronului cu φ variabil: *a* — cu transformator; *b* — cu bobină de reactanţă; *c* — curba tensiunii de grilă cu vîrf.

de defazare sînt arătate în fig. 42 *c*. Modificînd unghiul φ se modifică punctul de intersecţie al curbelor $u_{ga} = f(\omega t)$ şi u_g şi prin urmare unghiul de aprindere. La această variantă a metodei a treia, comanda tiratronului se deosebeşte puţin de metoda a doua de comandă (prin modificarea tensiunii alternative din circuitul grilei). Un avantaj al acestui fel de comandă constă în faptul că unghiul de aprindere se modifică mai puţin cînd oscilează temperatura, tensiunea anodică sau aceea a grilei.

Pînă aci s-au arătat metodele de comandă ale tiratronului cu o sarcină neinductivă în circuitul anodic. În practică asemenea cazuri se întîlnesc la comanda curentului în cuptoarele electrice, a intensității luminoase a lămpilor etc.

Comanda tiratronului cu sarcină inductivă în circuitul anodic. Mult mai des decît cele precedente, se întîlnesc drept sarcină aparate care au o inductanță apreciabilă: motoare, electromagneți etc. În unele cazuri se pot întîlni sarcini capacitive.

Dacă în circuitul anodic al tiratronului există o sarcină avînd R_a și L_a se aplică ecuația:

$$U_{am} \sin \omega t = U_0 + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt}. \qquad (19.12)$$

Prin integrarea acestei ecuații se obține expresia curentului anodic instantaneu i_a și apoi valorile medie și eficace ale acestui curent.

20. Relee cu tuburi cu catod rece. Aceste tuburi au doi electrozi: catodul și anodul, ambii reci și așezați în interiorul unui balon cu gaz inert: neon, argon sau un amestec al acestor gaze. Presiunea în interiorul balonului este de $10^{-2} \ldots 10^{-4}$ mm col. mercur. La o ridicare suficientă a tensiunii anodice începe ionizarea gazului și apare un curent apreciabil $(1 \ldots 100)\,10^{-3}$ A. Tensiunea de aprindere U_a și tensiunea de stingere U_s variază în funcție de condițiile de funcționare ale tubului. Variații ale temperaturii exterioare și cîmpuri magnetice sau electrice pot modifica pe U_a cu 0,5—5 V. În schemele cu relee este necesar să se aleagă tuburi cu o valoare minimă pentru $U_a - U_s$. În fig. 43 s-au arătat diferite întrebuințări ale tubului cu catod rece: ca releu de tensiune (fig. 43 *a*), ca fotoreleu (fig. 43 *b*) și ca releu de timp (fig. 43 *c*).

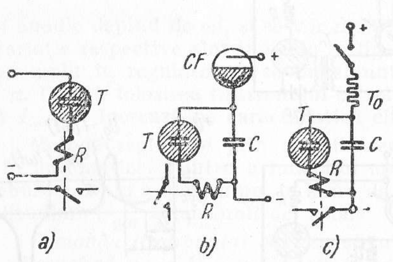


Fig. 43. — Relee cu tuburi cu catod rece.

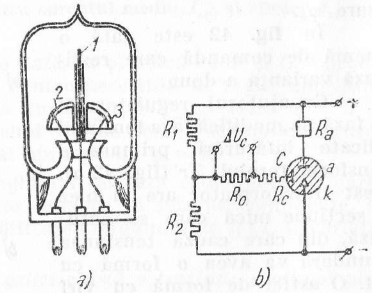


Fig. 44. — Releu cu tiratron cu catod rece: *a* — tiratron cu catod rece (*1* — anod, *2* — electrod de comandă, *3* — catod); *b* — schema releului cu tiratron rece.

21. Relee cu tiratron cu catod rece. Tiratronul cu catod rece are trei electrozi: catodul, anodul și un electrod de comandă numit *aprinzător* (fig. 44 *a*). Catodul și electrodul de comandă sînt executate din suprafețe izolate una de alta. Anodul este rectiliniu, format dintr-o sîrmă de nichel introdusă într-un tub de sticlă. Balonul de sticlă în interiorul căruia sînt electrozii se umple de obicei cu un amestec de neon cu un procent mic de argon. În circuitul electrod de comandă-catod se stabilește cu ajutorul unei surse suplimentare un curent foarte mic I_c, care va provoca apoi aprinderea tiratronului. Timpul de aprindere, adică de ionizare a spațiului electrod de comandă-catod și transferul descărcării în circuitul anodic este de ordinul 10^{-4}—10^{-3} s. Timpul de stingere este de ordinul 10^{-3}—10^{-2} s. Influența frecvenței în circuitul de comandă, pentru valorile tensiunii necesară aprinderii tiratronului apare numai pentru frecvențe mai mari de 10^4 Hz. Temperatura înconjurătoare modifică valoarea tensiunii de aprindere anodice. Se poate lua $\frac{\Delta U_a}{\Delta \theta} \approx -0{,}5$ V/grd. Cîmpurile electrostatice sau magnetice puternice pot modifica de asemenea tensiunea de aprindere. Pentru a se evita aceasta, tiratroanele sînt protejate printr-o plasă metalică și îndepărtate din vecinătatea cîmpurilor magnetice de mare intensitate.

Tiratronul cu catod rece are multe întrebuințări, funcționînd mai ales ca releu în instalațiile automate sau telemecanice, care trebuie să fie în permanență gata să primească impulsuri de comandă și în același timp să aibă un consum mic de curent de la sursa de alimentare.

Caracteristica principală a tiratronului cu catod rece este caracteristica de aprindere, adică tensiunea anodică U_a la care descărcarea din circuitul de comandă se extinde la spațiul anod-catod, în funcție de curentul I_c din circuitul de comandă (fig. 45).

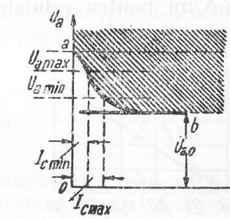


Fig. 45. — Caracteristica de aprindere a tiratronului cu catod rece.

Rezistențele R_1 și R_2 (fig. 44 *b*) se determină astfel ca în repaus tensiunea între electrodul de comandă și catod să fie mai mică decît este necesar pentru stabilirea curentului de comandă. Pe de altă parte valoarea minimă a impulsului de comandă ΔU_c trebuie să producă un curent de comandă I_c care să fie mai mare decît curentul $I_{c\,max}$, care corespunde pe caracteristica de aprindere la limita inferioară a tensiunii U_a. La alegerea rezistențelor din circuitul tiratronului trebuie să se țină seama și de încălzirea lor cum și de consumul admisibil de curent. Pentru impulsuri de tensiune scurte în circuitul de comandă, rezistența R_2 este deseori șuntată de un condensator.

22. **Releele cu celulă fotoelectrică.** Partea principală a acestor dispozitive este celula fotoelectrică fotoemisivă [1]), care reacționează la cele mai mici variații de intensitate sau de compoziție spectrală a energiei luminoase primite și care este folosită în cele mai variate dispozitive din automatica industrială: aparate pentru determinarea temperaturii corpurilor încălzite, pentru determinarea dimensiunilor obiectelor, pentru determinarea poziției unui obiect în spațiu, pentru urmărirea desfășurării unui proces tehnologic în timp, regulatoare pentru periodicitatea sau viteza proceselor tehnologice etc.

În unele cazuri dispozitivul fotoelectric controlează numai valorile limită ale mărimilor, la atingerea cărora organul de execuție este pus în funcțiune (dispozitive cu funcție de releu); în alte cazuri este folosit ca un indicator continuu al compoziției obiectului (dispozitiv de măsură).

Caracteristicile celulei fotoelectrice sînt:

— caracteristica luminoasă $I_f = f(\Phi)$, adică fotocurentul I_f în funcție de valoarea fluxului luminos Φ (fig. 46). Curba *1* este pentru celula cu oxid de cesiu în gaz și curba *3* în vid, iar curba *2* pentru celula cu stibiu și cesiu în vid;

— caracteristica $I_f = f(U)$, adică fotocurentul în funcție de tensiunea aplicată fotoelementului;

[1]) v. vol. I. Cap. III § 190 γ

— sensibilitatea integrală, adică raportul $\frac{I_f}{\Phi}$ pentru U constant, pentru porţiunea rectilinie a caracteristicii luminoase şi pentru un flux compus din mai multe radiaţii.

Fotocelulele cu vid se saturează la tensiuni anodice mici şi valoarea lui I_f în porţiunea utilă ($U = 100 \ldots 200$ V) nu depinde de valoarea tensiunii anodice. Fotocelulele cu gaz nu au saturaţie şi I_f depinde de tensiunea aplicată. Dacă se ajunge la tensiunea de aprindere de aproximativ 300 V, fotocelula iese din funcţiune. Pe porţiunea iniţială a curbelor $I_f = f(U)$, curentul I_f este mai mic la fotocelulele cu gaz decît la acele cu vid, însă pe măsură ce tensiunea U creşte, I_f devine mai mare la fotocelulele cu gaz.

Fotocelulele de fabricaţie sovietică au o sensibilitate integrală de ordinul 20 µ A/lm pentru celulele cu vid şi de ordinul 100—150 µA/lm pentru cele cu gaz. Sensibilitatea dinamică S_d a unei fotocelule care funcţionează cu o rezistenţă de sarcină R_s este mai mică decît sensibilitatea integrală statică S_s:

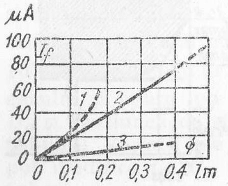


Fig. 46. — Caracteristicile luminoase ale celulelor fotoelectrice.

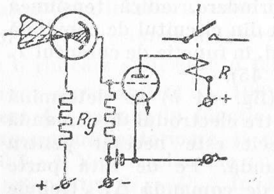


Fig. 47. — Releu cu celulă fotoelectrică şi tub electonic.

$$S_d = \frac{S_s}{1 + \frac{R_s}{R_i}} \cdot \quad (22.1)$$

Deoarece rezistenţa interioară R_i a fotocelulei este mare, influenţa rezistenţei de sarcină R_s se manifestă numai la valori mari ale lui R_s. Pentru că curentul I_f este de obicei prea mic pentru a acţiona organul de execuţie sau de măsurare de tip cu ac indicator, este necesar un element auxiliar care să îndeplinească funcţia de amplificator (amplificator electronic sau cu tiratron). În fig. 47 se arată schema unui releu cu celulă fotoelectrică şi cu un tub electronic. Mărind iluminarea creşte curentul în rezistenţa grilei şi potenţialul grilei devine mai puţin negativ; curentul anodic al tubului creşte şi cînd ajunge la o valoare suficientă provoacă funcţionarea releului. Schema se poate executa şi astfel încît creşterea iluminării să provoace eliberarea releului. Rezistenţa de grilă trebuie să aibă o valoare comparabilă cu rezistenţa internă a celulei şi mult mai mică decît rezistenţa de intrare a tubului. Valoarea medie a factorului de amplificare al unui astfel de dispozitiv este de 20 000.

Dacă se alege un tub electronic cu o rezistenţă de intrare mai mare, ceea ce permite să se mărească valoarea lui R_g din schemă şi se ia o celulă fotoelectrică care să admită un flux luminos mai mare şi să aibă deci o sensibilitate mai mare, factorul total de amplificare poate să ajungă la 40 000.

Rezistenţa releului electromagnetic R se ia de obicei între 1000—10 000 Ω, curentul de funcţionare de 5—20 mA. Puterea care se obţine la ieşirea amplificatorului poate ajunge la 5—10 W, ceea ce este suficient nu numai pentru aparatele de măsură şi control, dar şi pentru comanda unor dispozitive mici.

În montajele de comandă automată sînt întrebuinţate şi scheme cu celule fotorezistive constituite din substanţe a căror rezistivitate scade sub acţiunea energiei luminoase. Se folosesc în acest scop seleniul, sulfura de taliu şi în ultimul timp sulfura de plumb şi sulfura de bismut.

Pentru calculele practice, caracteristica de lumină a unei astfel de celule poate fi reprezentată prin:

$$\Delta I = A^x; \quad (22.2)$$

în care: ΔI este diferenţa dintre curentul celulei iluminate şi curentul de repaos;
A — un coeficient de proporţionalitate care depinde de tipul şi de construcţia celulei fotorezistive;
E — iluminarea, în lucşi;
x — un exponent pozitiv subunitar.

Aceste celule au o sensibilitate mare şi permit să se măsoare raze termice din spectrul infraroşu.

Dezavantajele sînt: neliniaritatea caracteristicii, inerţie mare şi curent apreciabil de repaos (la întuneric), pînă la 40 % din curentul maxim. La celulele moderne eroarea de frecvenţă s-a redus mult şi este aproape neglijabilă pentru intervalul 0—1000 Hz.

D. Amplificatoare magnetice

23. Generalităţi. Se numeşte amplificator un element în care mărimile de intrare şi ieşire au aceeaşi natură fizică şi în care se produce numai o transformare cantitativă a valorii mărimii de intrare. În automatică şi telemecanică este necesară deseori o asemenea amplificare, deoarece energia de eşire din traductoare sau din alte elemente poate să nu fie suficientă spre a comanda elementul următor al instalaţiei. Efectul de amplificare se obţine prin folosirea unei surse auxiliare de energie. Există amplificatoare electrice, mecanice, hidraulice şi pneumatice. Factorul de transfer (§ 3) se numeşte în acest caz coeficient de amplificare şi poate fi exprimat de asemenea sub formă statică K sau sub formă dinamică K'. Pentru că mărimile x şi y, de intrare şi ieşire pot fi — în cazul amplificatoarelor electrice — tensiuni, curenţi sau puteri se pot deosebi coeficienţi de amplificare pentru tensiune, curent sau putere.

În acest subcapitol se vor descrie numai amplificatoarele magnetice. Amplificatoarele electrice rotative (maşinile electrice amplificatoare) au fost descrise în vol. II, cap. V, subcap. E. Amplificatoarele electronice care au o întrebuinţare foarte largă în aceste instalaţii vor fi descrise în vol. Electronica.

24. Principiul de funcţionare şi detalii constructive. Amplificatoarele magnetice de curent alternativ se bazează pe faptul că permeabilitatea relativă μ_r a unui miez din material feromagnetic, pe care se află o înfăşurare de curent alternativ care produce o inducţie maximă B_M, şi o înfăşurare de curent continuu producînd un cîmp magnetizant H_c, este funcţie de B_M şi H_c. Aceste amplificatoare se compun din două miezuri cu un singur sistem magnetic (fig. 49 *a*) sau dintr-un miez în formă de ⊔⊔ (fig. 49 *b*). Miezurile se construiesc din tablă subţire de transformator sau din permaloi.

Permeabilitatea relativă pentru miezuri din oţel de transformator din tole sovietice tip W 25, la 50 Hz şi cu magnetizare suplimentară în curent continuu [1]) este dată în fig. 48.

[1]) După Îndreptarul electrotehnic, traducere din limba rusă, Editura Energetică de Stat, 1955, pag. 299.

La o valoare constantă B_M a inducţiei alternative maxime, permeabilitatea relativă μ_r se micşorează pe măsură ce creşte cîmpul de magnetizare suplimentară H_c. Dacă se menţine H_c constant şi se măreşte B_M, atunci la început μ_r creşte, atinge un maxim şi apoi scade. Înfăşurarea care produce cîmpul H_c se numeşte

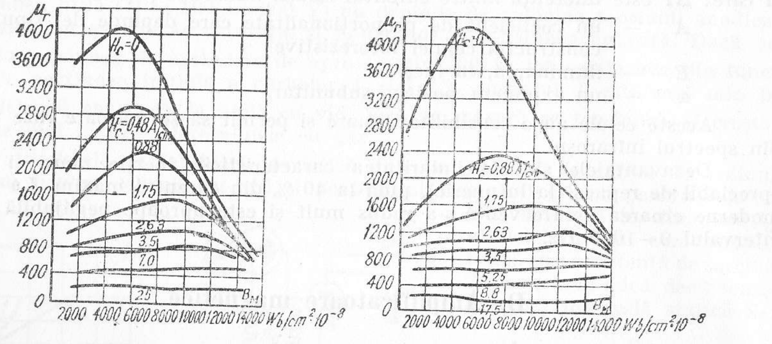


Fig. 48. — Permeabilitatea relativă a miezului din oţel de transformator W25 (sovietic), la frecvenţa de 50 Hz, cu o magnetizare suplimentară în curent continuu: *a* — pentru o inducţie sinusoidală, *b* — pentru un curent sinusoidal.

de comandă şi curentul care o străbate curent de comandă sau de intrare, pentru că această înfăşurare primeşte acţiunea de la elementul precedent.

Schemele celor mai simple amplificatoare magnetice sînt arătate în fig. 49. Înfăşurările de curent alternativ W_a sînt aşezate pe coloanele laterale, iar înfăşurarea de comandă W_c pe coloana centrală. Înfăşurările W_a sînt conectate şi dispuse

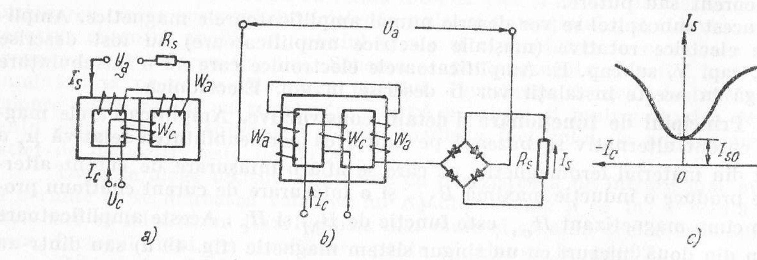


Fig. 49. — Amplificatoare magnetice: *a* — cu două miezuri, *b* — cu un singur miez în formă de ш ; *c* — caracteristica intrare-ieşire.

astfel încît fluxul magnetic alternativ care trece prin înfăşurarea de comandă W_c să fie nul; în felul acesta nu se induce o f.e.m. în înfăşurarea de comandă. Înfăşurarea de curent alternativ în serie cu sarcina se conectează la reţeaua de curent alternativ, avînd tensiunea U_a

Curentul I_s din impedanţa de sarcină va fi:

$$I_s = \frac{U_a}{\sqrt{(R_a + R_s)^2 + (X_a + X_s)^2}}, \tag{24.1}$$

în care:

R_a şi R_s sînt rezistenţele înfăşurării de curent alternativ şi a sarcinii;
X_a şi X_s — reactanţele înfăşurării de curent alternativ şi a sarcinii.

Reactanţa X_a este dată de formula

$$X_a = 2\pi f \frac{W_a^2 s \mu_r \mu_0}{l_a}, \tag{24.2}$$

în care:

W_a este numărul total de spire al înfăşurării de curent alternativ;
s — secţiunea miezului, în cm²;
l_a — lungimea circuitului magnetic pe drumul pe care se închide fluxul alternativ, în cm;
$\mu_0 = 0{,}4\ \pi \cdot 10^{-8}$ H/cm.

Se vede că reactanţa X_a este proporţională cu permeabilitatea relativă. Reglînd intensitatea curentului de comandă I_c din înfăşurarea W_c de curent continuu se poate varia X_a în limite largi şi deci şi valoarea curentului de sarcină I_s. Din cauza prezenţei reactanţei de sarcină X_s şi a reactanţei de scăpări de care nu s-a ţinut seama, reactanţa totală are o variaţie relativă mai mică decît variaţia reactanţei X_a, ceea ce micşorează posibilităţile de reglaj ale amplificatorului magnetic.

În fig. 49 *c* este arătată curba $I_s = f(I_c)$ denumită caracteristica de intrare-ieşire a amplificatorului magnetic.

Dacă sarcina trebuie alimentată în curent continuu, se introduce în circuitul de curent alternativ un redresor în punte, executat de obicei din elemente cu seleniu (fig. 49 *b*).

Coeficientul de amplificare al curentului într-un astfel de amplificator este

$$K_c = \frac{I_s - I_{s0}}{I_c},$$

iar coeficientul de amplificare al puterii

$$K_p = \frac{P_s - P_{s0}}{P_c},$$

în care:

I_s şi P_s sînt curentul, respectiv puterea de sarcină (mărimea de eşire);
I_{s0} şi P_{s0} — curentul şi puterea în circuitul sarcinii pentru $I_c = 0$;
I_c şi P_c — curentul şi puterea de comandă (mărimea de intrare).

Pentru că I_{s0}, respectiv P_{s0} sînt nule sau foarte mici în comparaţie cu I_s şi P_s, coeficienţii de amplificare capătă formele:

$$K_c = \frac{I_s}{I_c} \qquad K_p = \frac{P_s}{P_c}$$

La conectarea în cascadă a amplificatoarelor magnetice coeficientul total de amplificare pentru curent este:

$$K_{cT} = K_{c1} \cdot K_{c2} \cdots$$

în care K_{c1}, K_{c2} etc. sînt coeficienţii de amplificare ai curenţilor pentru amplificatoarele care formează lanţul de amplificare. O formulă analogă dă coeficientul total de amplificare al puterii.

M i e z u r i l e a m p l i f i c a t o a r e l o r m a g n e t i c e se execută de obicei din tole de oţel de transformator pentru puteri de ieşire mai mari de 1 W. Mărimea inducţiei magnetice în acest caz este de 8000...10 000 gauşi [(8 . . . 10) 10^{-5} Wb/cm²]. Coeficientul de amplificare al puterii este $K_p = 10 \ldots 1000$.

Pentru a se obţine o amplificare mai mare, se întrebuinţează miezuri din tole de permaloi, care pentru a micşora permeabilitatea în aceeaşi proporţie, necesită un cîmp de magnetizare suplimentară de 10—15 mai mic decît în cazul tolelor din oţel de transformator. Inducţia magnetică în permaloi este 4000...5000 gauşi [(4... 5)10^{-5} Wb/cm²]. Pentru o anumită putere reactivă, volumul miezului amplificatorului este proporţional cu $\frac{\mu}{B_m^2}$ în care μ este permeabilitatea cînd nu există magnetizare suplimentară, iar B_m amplitudinea inducţiei alternative (a se vedea mai departe). Deoarece pentru permaloi μ este mai mare şi B_m mai mic decît pentru tole din oţel pentru transformator, rezultă că volumul miezului de permaloi — pentru aceeaşi putere — este mult mai mare decît volumul miezului din oţel. Din această cauză miezurile de permaloi se întrebuinţează pentru amplificatoare magnetice de putere mică (sub 1 W). Coeficientul de amplificare al puterii pentru miez de permaloi şi la întrebuinţarea schemei cu reacţie este $K_p = 1000 \ldots 10\,000$. Folosirea permaloiului permite amplificarea unor semnale de comandă extrem de slabe, a căror putere este de ordinul 10^{-13} W. Amplificatoarele magnetice lucrează de obicei cu tensiune alternativă cu frecvenţa de 50 Hz, 400 . . . 500 Hz, cum şi cîţiva kHz.

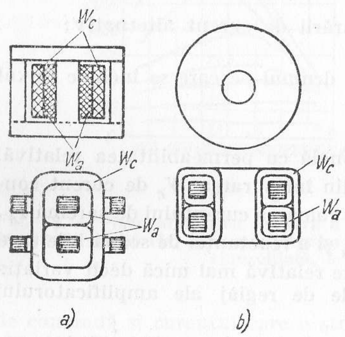


Fig. 50. — Construcţia amplificatoarelor magnetice:
a — cu miezul din tole în formă de ⊔⊔, b — cu miezul din tole inelare.

Pentru a se reduce dispersiunile, înfăşurările W_a de curent alternativ se bobinează deseori pe coloanele mijlocii a două miezuri în formă de ⊔⊔, iar înfăşurarea de curent continuu W_c pentru magnetizare se aşază deasupra, cuprinzînd ambele înfăşurări de curent alternativ (fig. 50 a).

Prezenţa întrefierurilor într-un miez obişnuit în formă de ⊔⊔ asamblat din părţi separate înrăutăţeşte caracteristicile amplificatorului magnetic. Un astfel de întrefier δ în calea fluxului de magnetizare suplimentară necesită mărirea f.m.m. a înfăşurării de comandă pentru ca intensitatea cîmpului de comandă H_c să fie aceeaşi. Rezultate mai bune în ce priveşte sensibilitatea şi coeficientul de amplificare se obţin prin folosirea miezurilor în formă de inel din tole continui de permaloi. În acest caz, pe două miezuri din tole inelare se aşază înfăşurările de curent alternativ W_a iar deasupra lor înfăşurarea de magnetizare W_c care cuprinde ambele miezuri (fig. 50 b). La miezuri inelare execuţia bobinelor este însă mai dificilă.

25. **Calculul unui amplificator magnetic**[1]. Acest calcul aproximativ se face pe baza caracteristicilor $\mu_r = f(B_M, H_c)$ ridicate experimental pentru materialul ales şi pentru o anumită formă a circuitului magnetic — ⊔⊔ în cazul de mai jos. Calculul constă în determinarea dimensiunilor circuitului magnetic, a numărului de spire W_a în curent alternativ şi a numărului de spire W_c pentru circuitul de comandă. Se presupun cunoscute:

U şi f — tensiunea şi frecvenţa de alimentare;
$Z_{s1} = R_{s1} + jX_{s1}$ şi I_{s1} — impedanţa şi curentul sarcinii, cînd cîmpul de magnetizare în curent continuu este zero;
$Z_{s2} = R_{s2} + jX_{s2}$ şi I_{s2} — impedanţa şi curentul sarcinii, cînd magnetizarea în curent continuu este maximă.

Schema amplificatorului magnetic la care se referă calculul este analogă cu cea din fig. 49 b, fără redresor.

Reactanţa inductivă a înfăşurării de curent alternativ pentru situaţia 1 şi 2, neglijîndu-se rezistenţa acestei înfăşurări este:

$$X_{a1} = \sqrt{\frac{U^2}{I_{s1}^2} - R_{s1}^2} - X_{s1}; \tag{25.1}$$

$$X_{a2} = \sqrt{\frac{U^2}{I_{s2}^2} - R_{s2}^2} - X_{s2}. \tag{25.2}$$

Între permeabilităţile relative şi amplitudinile inducţiei alternative există relaţiile:

$$\frac{\mu_{r1}}{\mu_{r2}} = \frac{X_{a1}}{X_{a2}}; \qquad \frac{B_{M1}}{B_{M2}} = \frac{X_{a1}\, I_{s1}}{X_{a2}\, I_{s2}}. \tag{25.3}$$

Pentru situaţia 1 (cînd nu există magnetizare în curent continuu) este indicat să se folosească curbele μ_r pentru inducţie sinusoidală (fig. 48 a) pentru $H_c = 0$. De obicei B_{M1} se alege între 9 000 şi 12 000 gauşi şi se determină astfel punctul de funcţionare 1 şi deci μ_{r1}, iar din formulele (25,3) se determină pe μ_{r2} şi B_{M2}. Cînd curentul de magnetizare este mare este indicat să se folosească curbele μ_r pentru curent sinusoidal (fig. 48 b). Pe aceste curbe se găseşte punctul 2 de funcţionare corespunzător valorilor μ_{r2} şi B_{M2} şi deci valoarea lui H_c.

Volumul activ al circuitului magnetic este:

$$V = \frac{I_{s1}^2 \cdot X_{a1} \cdot \mu_{r1} \cdot 10^{-8}}{2{,}5\, f \cdot B_{M1}^2}, \; [\text{cm}^3] \tag{25.4}$$

în care B_{M1} este dat în Wb/cm².

Se alege tipul tolei şi se determină grosimea pachetului de tole pentru a se realiza volumul V (volumul coloanei din mijloc a miezului nu se socoteşte). Numărul total de spire al înfăşurării de curent alternativ pe cele două coloane laterale este:

$$W_a = \frac{I_{s1} \cdot X_{a1}}{4.44\, f \cdot S \cdot B_{M1}}, \tag{25.5}$$

în care S este secţiunea circuitului magnetic, în cm².

Numărul de spire al înfăşurării de comandă este:

$$W_c = \frac{H_c\, l_c}{I_c}, \tag{25.6}$$

[1] După Îndreptar Electrotehnic, traducere din limba rusă, Editura Energetică de Stat, 1955, pag. 299.

în care l_c este lungimea medie a circuitului magnetic străbătut de fluxul continuu: în cazul considerat lungimea medie trece prin coloana centrală şi se închide printr-una din coloanele laterale.

Pentru a se micşora volumul circuitului magnetic, se alege B_{M1} cît mai mare. Totuşi punctul 2 nu trebuie să se găsească pe o curbă cu H_c mai mare decît 17 ... 20 A·sp/cm, pentru a nu fi necesară o forţă de magnetizare de comandă prea mare. Pentru a se micşora această forţă de comandă, B_{M1} trebuie luat astfel încît punctul 1 să fie cît mai aproape de maximul lui μ_r pentru $H_c = 0$.

26. **Amplificatoare magnetice diferenţiale.** Inconvenientele principale ale amplificatoarelor magnetice de tipul descris mai sus sînt următoarele:

— nu sînt sensibile la schimbarea polarităţii semnalului de intrare (sau a curentului de comandă) ; curentul I_s în înfăşurare de ieşire este acelaşi pentru $+ I_c$ şi pentru $- I_c$;

— dacă curentul de comandă I_c este egal cu zero, curentul I_s în înfăşurările de ieşire nu poate fi adus la zero, pentru că valoarea inductanţei L a înfăşurărilor de curent alternativ nu poate fi infinită, pentru nici o valoare a lui I_c; deci, prin înfăşurările de ieşire va trece un oarecare curent iniţial I_{s0}. Acesta face uneori incomodă întrebuinţarea amplificatorului magnetic şi provoacă un consum inutil de energie electrică în înfăşurările de eşire, atunci cînd curentul de comandă este zero. Aceste inconveniente se înlătură în schema diferenţială, în care se conectează două amplificatoare magnetice simple conform fig. 51 (nu s-au figurat rezistenţele de ajustare).

Curentul în sarcina Z este $I_s = I_{1a} - I_{2a}$. Dacă curentul de comandă este zero, $I_{1a} = I_{2a}$ şi deci curentul iniţial în sarcină este zero. Schema nu este totuşi

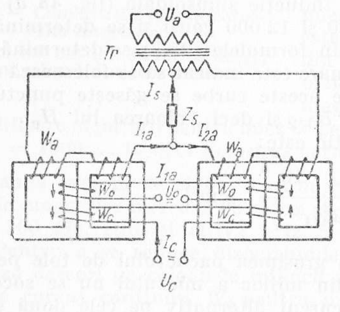


Fig. 51. — Amplificator magnetic diferenţial.

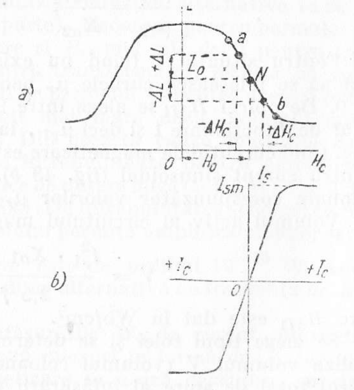


Fig. 52. — Caracteristica amplificatorului magnetic diferenţial:
a — curba $L = f(H_c)$, b — caracteristica intrare-ieşire.

sensibilă la schimbarea de polaritate a curentului de comandă. Pentru a crea o astfel de sensibilitate, se foloseşte la amplificatoarele magnetice diferenţiale o înfăşurare specială W_0 de magnetizare suplimentară continuă, care creează un cîmp magnetic H_0 constant în valoare şi sens.

Acest cîmp de magnetizare suplimentar deplasează punctul de funcţionare al amplificatorului de pe axa de simetrie a curbei $L = f(H_c)$, în punctul N pe porţiunea descendentă $a-b$ (fig. 52 a).

Semnalul de comandă I_c creează un cîmp magnetic H_c care se adună într-unul din miezuri cu cîmpul H_0 şi se opune acestui cîmp în celălalt miez. Atunci cînd semnalul de comandă este zero, $I_{1a} = I_{2a}$ şi curentul în sarcină $I_s = 0$. Cînd apare semnalul de comandă, magnetizarea într-un miez se măreşte $(+\Delta H_c)$, adică inductanţa înfăşurării corespunzătoare scade $(-\Delta L)$ şi curentul în această înfăşurare creşte. Magnetizarea celuilalt miez se micşorează $(-\Delta H_c)$, inductanţa înfăşurării corespunzătoare creşte $(+\Delta L)$ şi curentul din această înfăşurare scade. În sarcina Z_s va apare curentul

$$I_s = I_{1a} - I_{2a}.$$

Dacă se schimbă polaritatea curentului de comandă, faza curentului diferenţial în sarcină se schimbă cu 180°.

Caracteristica intrare-ieşire a amplificatoarelor magnetice diferenţiale este arătată în fig. 52 b. Pentru a se obţine o caracteristică liniară este necesar să se lucreze pe porţiunea rectilinie $a-b$ a curbei $L = f(H_c)$, iar valoarea curentului I_0 din înfăşurarea de magnetizare suplimentară continuă trebuie ales astfel ca punctul N să fie în mijlocul acestei porţiuni.

Saturaţia materialului miezului micşorează mult inductanţele înfăşurărilor de ieşire. Totuşi valoarea curentului I_s nu poate să se mărească mult pentru că este limitată de rezistenţa sarcinii şi a înfăşurării. De aceea chiar la semnale de comandă foarte mari, valoarea lui I_s nu poate fi mai mare decît I_{sm} (fig. 52 b). Amplificatoarele magnetice suportă deci suprasarcini importante, ceea ce este un avantaj al lor faţă de majoritatea celorlalte amplificatoare. Amplificatoarele magnetice diferenţiale se utilizează des pentru comanda sensului de rotaţie a servomotoarelor electrice de curent continuu.

27. **Amplificatoare magnetice cu reacţie.** α) *Metoda cea mai întrebuinţată pentru mărirea coeficientului de amplificare* constă în introducerea înfăşurării de

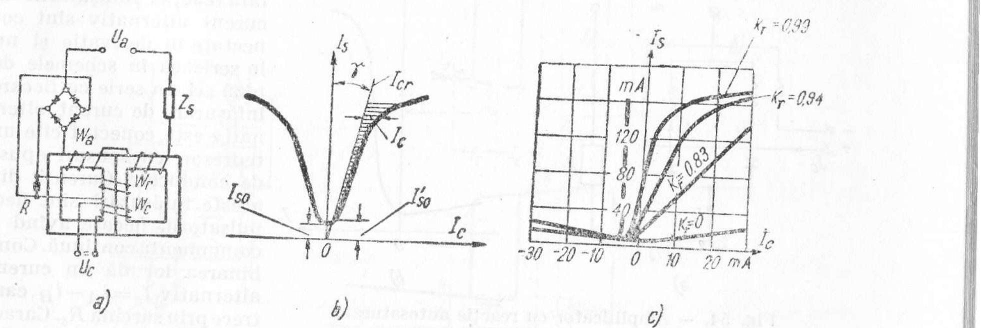


Fig. 53. Amplificator magnetic cu reacţie de tip simplu:
a — schema; b — caracteristica intrare-ieşire; c — caracteristica pentru diferite valori de reacţie.

reacţie pozitivă. În acest caz (fig. 53 a), cea mai mare parte a amperspirelor de magnetizare este creată de înfăşurarea de reacţie W_r şi numai o mică parte din înfăşurarea de comandă W_c.

Curentul I_s din circuitul de sarcină, redresat cu ajutorul unui redresor uscat trece prin înfăşurarea de reacţie W_r, creînd un cîmp de magnetizare suplimentar H_r proporţional cu I_s. În fig. 53 b s-a trasat caracteristica $I_s = f(I_c)$ a amplificatorului magnetic fără reacţie şi dreapta $I_{cr} = I_s \operatorname{tg}\gamma$ a curentului din circuitul de reacţie,

în care $\text{tg}\,\gamma = K\frac{W_r}{W_c}\cdot\frac{n_1}{n_2}$, n_1 și n_2 fiind scările respective ale curenților I_s și I_c, iar K un coeficient care depinde de schema de reacție aleasă. Pentru un anumit curent I_s în sarcină, curentul de comandă I_c necesar este dat de liniile hașurate din fig. 53 *b*[1]). Relația dintre coeficientul de amplificare al curentului K_c al amplificatorului fără reacție și coeficientul de amplificare K_{cr} al amplificatorului cu reacție pentru curent este:

$$K_{cr} = \frac{K_c}{1 - K_c \,\text{tg}\,\gamma} = \frac{K_c}{1 - K_r}, \tag{27.1}$$

(K_r se numește coeficient de reacție).

Coeficientul K_{cr} este mult mai mare decît K_c și poate ajunge la valori de 3 000 — 10 000. În fig. 53 *c* s-au trasat caracteristicile amplificatorului magnetic cu reacție pentru diferitele valori ale lui K_r. Din fig. 53 *b* se poate vedea că curentul inițial din sarcină I_{s0} este mai mare în amplificatorul cu reacție ($I'_{s0} > I_{s0}$). Pentru a înlătura acest inconvenient se folosește deseori o înfășurare auxiliară alimentată de la tensiunea U_a printr-un redresor; ea creează o magnetizare constantă, îndreptată în același sens ca și aceea produsă de înfășurarea de reacție și care deplasează caracteristica amplificatorului spre dreapta. Înfășurarea auxiliară se alege astfel ca să se obțină un I_{s0} minim.

Amplificatoarele magnetice cu reacție construite după schema din fig. 53 *a* nu sînt sensibile la polaritatea semnalului de comandă și au un curent inițial în înfășurarea de ieșire. Aceste inconveniente se înlătură prin conectarea a două amplificatoare cu reacție într-o schemă diferențială.

β) *Amplificatoare cu reacție autosaturate.* Schema fig. 54 *a* este o modificare a schemei fundamentale a amplificatorului magnetic fără reacție. Înfășurările de curent alternativ sînt conectate în derivație și nu în serie ca în schemele de pînă aci. În serie cu fiecare înfășurare de curent alternativ este conectat cîte un redresor cu sensuri opuse de conducere. Curenții din aceste înfășurări sînt deci pulsatorii, fiecare avînd o componentă continuă. Combinarea lor dă un curent alternativ $I_s = i_A - i_B$ care trece prin sarcina R_s. Caracteristica tipică a unui astfel de amplificator (fig. 54 *b*) are o formă analogă cu aceea a amplificatorului cu înfășurare specială de reacție cu coeficient de reacție foarte mare (mai mic însă decît unu). Aceste amplificatoare sînt mai simple decît tipul cu reacție precedent, din cauza lipsei înfășurării de reacție. Amperspirele de reacție sînt produse în înfășurările de curent alternativ, deci o înfășurare comună pentru sarcină și reacție. Schema se referă la un amplificator magnetic cu coeficient de reacție fix.

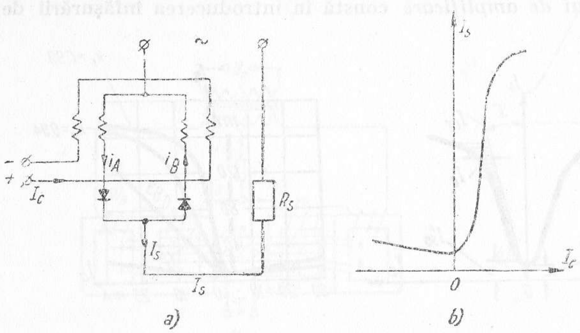


Fig. 54. — Amplificator cu reacție autosaturat.

[1]) Intersecția între dreapta I_{cr} și curba I_c corespunde curentului de comandă zero. În acest caz I_s minim nu corespunde însă curentului de comandă zero, ci unui curent de comandă negativ.

Acest tip de amplificator magnetic este cel mai răspîndit, construindu-se pentru nevoile instalațiilor de automatică pentru o gamă foarte largă de valori, de la 50 VA pînă la 6000 VA aproximativ, în serii standardizate în unele fabrici. Pentru modele mari coeficientul de amplificare al puterii este de aproximativ 1000 și constanta de timp de aproximativ 0,1 s.

28. Constanta de timp a amplificatoarelor magnetice. Pentru calculul schemelor de automatică care cuprind amplificatoare magnetice este necesar să se cunoască întîrzierea provocată de funcționarea acestor amplificatoare. Constanta de timp a circuitului de comandă de rezistență R_c, secțiunea circuitului magnetic fiind S_c, este dată de:

$$T = \frac{L_c}{R_c} = \frac{W_c^2\,\mu_c\,\mu_0\,S_c}{l_c\,R_c}, \tag{28.1}$$

în care $\mu_c = \frac{\Delta B_c}{\Delta H_c}$.

Dacă în afară de circuitul de comandă mai există și alte circuite de curent continuu (înfășurare de reacție, înfășurare pentru deplasarea punctului de funcționare etc.), atunci constanta de timp a amplificatorului se determină prin suma constantelor de timp ale diferitelor înfășurări de curent continuu. Această constantă de timp variază de la sutimi sau zecimi de secundă pentru amplificatoarele magnetice de putere mică pînă la cîteva secunde pentru amplificatoarele de putere mare.

La conectarea în cascadă a amplificatoarelor magnetice, constanta de timp a lanțului de amplificatoare este suma constantelor de timp a amplificatoarelor.

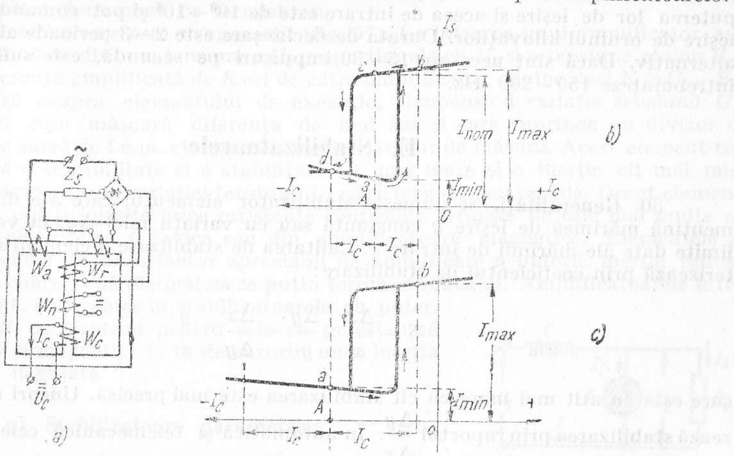


Fig. 55. — Releul magnetic fără contacte.

29. Amplificatoare magnetice funcționînd ca relee. Dacă într-un amplificator magnetic cu reacție, coeficientul de reacție K_r se face mai mare decît 1, de obicei mai mare decît 1,05, caracteristica de funcționare devine de tipul releu. Într-un astfel de amplificator punctul de funcționare pentru $I_c = 0$ se deplasează spre stînga (fig. 55 *b* și *c*), cu ajutorul unei înfășurări de negativare, astfel ca $OA = \frac{I_n W_n}{W_c}$, I_n și W_n fiind curentul și numărul de spire din înfășurarea de negati-

vare (fig. 55 *a*). Caracteristica acestui releu cuprinde o buclă; pe o ramură a buclei se face creşterea în salt a curentului, iar pe cealaltă ramură scăderea prin salt. Lăţimea buclei este determinată de mărimea coeficientului de reacţie; cu cît bucla este mai mare, funcţionarea releului este mai stabilă. În practică însă $K_r < 1{,}3 \ldots 1{,}5$. Caracteristic pentru releu este şi raportul dintre curentul de sarcină I_{max} şi curentul de repaos I_{min}, raport care este 10—50. În fig. 55 *b* este arătată caracteristica unui releu magnetic cu autoblocare. Înfăşurarea de negativare aduce punctul de funcţionare în *a* şi valoarea curentului în sarcină este I_{min}. La primirea impulsului de comandă I_c, punctul de funcţionare ţrece în *b* şi curentul în sarcină devine I_{max}. La încetarea impulsului, punctul de funcţionare vine în *c*, care este o poziţie de autoblocare şi curentul în sarcină devine $I_{nom} \approx I_{max}$. Eliberarea acestui releu se obţine prin trimiterea unui impuls $-I_c$ şi punctul de funcţionare trece prin salt de la *c* la *d* şi apoi după încetarea impulsului revine în *a*. În fig. 55 *c* înfăşurarea de negativare a deplasat punctul *a* de funcţionare la stînga buclei şi în acest caz la primirea impulsului de comandă I_c, funcţionarea trece în *b* unde rămîne numai cît durează impulsul, revenind în *a* după încetarea lui.

Releele magnetice funcţionează numai la o anumită polaritate a curentului de comandă. Avantajele lor sînt: simplicitate, durată de funcţionare nelimitată, nu au nevoie de întreţinere. Dezavantajele sînt: dificultatea de a obţine un număr mare de circuite de ieşire independente, prezenţa unui curent de ieşire I_{min} permanent, inerţie importantă. Sensibilitatea lor este foarte mare, puterea de comandă fiind de ordinul 10^{-8} W şi putînd fi în cazuri speciale 10^{-12} W. Raportul între puterea lor de ieşire şi aceea de intrare este de 10^3—10^8 şi pot comanda puteri de ieşire de ordinul kilovaţilor. Durata de declanşare este 2—3 perioade ale curentului alternativ. Dacă sînt necesare 15—30 impulsuri pe secundă, este suficient să se întrebuinţeze 150—200 Hz.

E. Stabilizatoarele

30. **Generalităţi.** Se numeşte stabilizator elementul care are drept scop să menţină mărimea de ieşire y constantă sau cu variaţii mici Δy, la variaţii Δx în limite date ale mărimii de intrare x. Calitatea de stabilizare a elementului se caracterizează prin coeficientul de stabilizare:

$$S = \frac{\Delta x}{x} : \frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta x}{\Delta y} \cdot \frac{y}{x}, \tag{30.1}$$

care este cu atît mai mare cu cît stabilizarea este mai precisă. Uneori se caracterizează stabilizarea prin raportul $\frac{\Delta y}{\Delta x}$. În automatică şi telemecanică cele mai răspîndite sînt stabilizatoarele de tensiune, pentru că se întîlnesc des dispozitive pentru care se cere o tensiune de alimentare U_2 cît mai constantă la variaţii destul de mari ale tensiunii U_1, a reţelei. Se poate cere de exemplu ca tensiunea U_2 să varieze cu 0,5—2 % pentru oscilaţii ale lui U_1 de 10 %; în cazuri speciale, variaţiile lui U_2 pot să fie chiar mult mai mici: 0,5—0,001 %.

Acţiunea de stabilizare este bazată pe folosirea impedanţelor neliniare. Pentru construirea stabilizatoarelor de tensiune se foloseşte neliniaritatea caracteristicilor termorezistenţelor, a tuburilor electronice şi ionice sau neliniaritatea curbei de magnetizare a oţelului.

După metoda de stabilizare sînt două tipuri principale de stabilizatoare: α) *Stabilizatoare parametrice* care se construiesc conform cu schema de principiu din fig. 56, în care cel puţin una din impedanţele Z_1 sau Z_2 este neliniară, adică este o impedanţă la care pe porţiuni determinate ale caracteristicii $U = f(I)$ nu se menţine relaţia de proporţionalitate între valorile tensiunii aplicate şi a curentului care circulă prin impedanţă. Aceste impedanţe neliniare pot fi împărţite în două grupe:

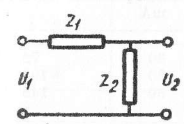


Fig. 56. — Stabilizator parametric — schemă de principiu.

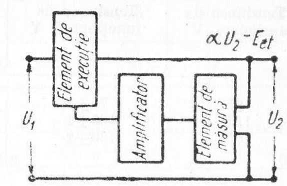


Fig. 57. — Stabilizator prin compensaţie.

— variatoare la care neliniaritatea caracteristicilor este determinată de însuşi fenomenul de trecere a curentului (dispozitive electronice şi ionice, celule redresoare, rezistenţe de tirit, vilit, bobine cu miez de oţel);

— rezistenţe la care neliniaritatea caracteristicilor este determinată de căldura pe care o desvoltă curentul care circulă prin rezistenţă (lămpi cu incandescenţă, baretoare şi semiconductori) cu un important coeficient negativ de temperatură, care au căpătat denumirea de termistoare.

β) *Stabilizatoare prin compensaţie* (fig. 57). La intrarea unui amplificator este aplicată diferenţa dintre o tensiune αU_2 proporţională cu U_2 şi o tensiune etalon E_{et}. Această diferenţă amplificată de K ori de către amplificator devine deci $K(\alpha U_2 - E_{et})$ şi acţionează asupra elementului de execuţie, compensînd variaţia tensiunii U_2. Dispozitivul care măsoară diferenţa de mai sus şi care cuprinde un divizor de tensiune şi o sursă de f.e.m. etalon se numeşte element de măsură. Acest element trebuie să aibă o sensibilitate şi o stabilitate cît mai mare şi o inerţie cît mai mică pentru ca compensarea variaţiei tensiunii U_2 să se facă cît mai repede. Drept elemente de execuţie pot fi folosite orice rezistenţe controlate formate de cele mai multe ori din tuburi electronice şi ionice sau din amplificatoare magnetice. Elementele de execuţie trebuie să aibă: factor apreciabil de amplificare a puterii, inerţie redusă, randament mare şi să distorsioneze puţin forma curentului. Amplificatoarele întrebuinţate sînt: electronice în stabilizatoarele cu puteri pînă la 50 W, cu tiratron pentru cele cu puteri pînă la 2—3 kW şi magnetice în toate cazurile unde inerţia lor poate fi neglijată.

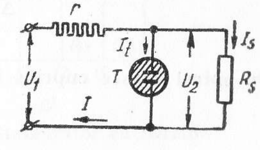


Fig. 58. — Stabilizator cu tub cu descărcare în gaze.

a) Stabilizatoare parametrice

31. **Stabilizator cu tub cu descărcare lentă (stabilovolt)** (fig. 58). Caracteristica unui astfel de tub pentru porţiunea de funcţionare este:

$$U = U_0 + r_0 I_t, \tag{31.1}$$

în care: U_0 şi r_0 sînt constante ale tubului;

I_t — curentul care trece prin tub şi care trebuie să se găsească între I_{tm}, sub care tubul se stinge şi I_{tM} peste care tubul se deteriorează.

Stabilovolţii se construiesc pentru tensiuni de la zeci pînă la sute de volţi şi pentru curenţi de la cîţiva pînă la sute de miliamperi. În tabela 4 s-au arătat caracteristicile a trei stabilovolţi de fabricaţie sovietică.

Tabela 4. Caracteristicile unor stabilovolţi sovietici

Tipul	Tensiunea de aprindere, V	Tensiunea de funcţionare, V	Curent de funcţionare		Tensiunea U_0, V	Rezistenţa interioară r_0, Ω
			I_{tm}, mA	I_{tM}, mA		
СГ2С	105	75±2,5	5	30	72	140
СГ3С	135	105±1	5	30	104	60
СГ4С	180	150±2	5	30	148	110

Rezistenţa r se calculează cu formula:

$$r = \frac{U_1 - U_2}{I_s + \frac{U_2 - U_0}{r_0}}, \tag{31.2}$$

în care I_s este curentul nominal din sarcină;
r_0 — rezistenţa interioară.

Cînd tensiunea U_1 variază cu $\pm\Delta U_1$, curentul I_t în stabilovolt nu trebuie să iasă din intervalul $I_{tm} \ldots I_{tM}$ şi aceasta se verifică cu expresia:

$$I_t = \frac{(U_1 \pm \Delta U_1) - U_0 - r I_s}{r + r_0} \tag{31.3}$$

ţinîndu-se seama de valorile lui I_s pentru $U_1 \pm \Delta U_1$.

Pentru ca tubul să se aprindă trebuie ca

$$(U_1 - \Delta U_1) - r\, I_s \geqslant U_a, \tag{31.4}$$

în care U_a este tensiunea de aprindere $U_a \approx (1{,}2 \ldots 1{,}3)\, U_0$;
I_s — curentul care trece prin sarcină atunci cînd stabilovoltul nu a început să funcţioneze.

Coeficientul de stabilizare este:

$$k = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = \frac{1}{1 + \frac{r}{r_0} + \frac{r}{R_s}} \approx \frac{1}{1 + \frac{r}{r_0}}. \tag{31.5}$$

De obicei k este cuprins între

$$\frac{1}{5} \text{ şi } \frac{1}{20}.$$

Stabilizatorul descris se întrebuinţează numai pentru alimentări în curent continuu.

32. **Stabilizator cu termistor.** Cele mai întrebuinţate termistoare sînt din oxid de uraniu, magneziu şi titan. Pentru protejarea lor acestea se introduc în globuri cu gaz neutru. La încălzirea termistorului prin curentul care-l străbate, rezistenţa lui variază în limite mari. Caracteristica de tensiune $U = f(I)$ a termistorului are trei regiuni caracteristice: în a doua, rezistenţa diferenţială a termistorului este negativă şi această proprietate este întrebuinţată pentru stabilizare. Stabilitatea caracteristicilor termistorului depinde de stabilitatea chimică a materialului. Din această

cauză nu se admite să treacă prin termistor curenţi mai mari decît acei nominali. În tabela 5 se dau caracteristicile unor termistoare de fabricaţie sovietică. Durata de funcţionare a acestor termistoare este de aproximativ 3000 h.

Tabela 5. Caracteristicile unor termistoare sovietice

Tipul	Tensiune nominală, V	Limitele stabilizării V	Curentul mediu, mA	Limitele curentului, mA
ТП2/05	2	1,6–3	0,5	0,1–2,0
ТП2/2	2	1,6–3	2	0,4–8,0
ТП6/2	6	4,2–7,8	2	0,7–8,0

Schema şi caracteristicile unui stabilizator cu termistor sînt arătate în fig. 59.

Valoarea rezistenţei R se determină astfel ca $\frac{\Delta U_2}{\Delta I_s} \approx 0$. Pentru acest scop trebuie ca $R = \frac{\Delta U_T}{\Delta I_T}$ care se iau din curba $U_T = f(I_T)$, şi anume pe porţiunea a doua a ei, adică acolo unde tensiunea la bornele termistorului scade cînd curentul prin termistor creşte.

În primele luni de funcţionare rezistenţa termistorului variază cu 5...7% rămînînd apoi aproape constantă.

33. **Stabilizator cu baretor.** Baretorul este format dintr-un filament de fier fixat în interiorul unui glob, asemănător lămpilor cu incandescenţă. În glob se face

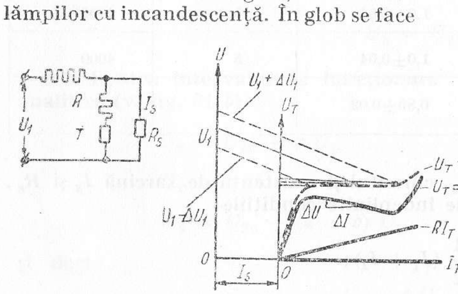


Fig. 59. — Stabilizator cu termistor.

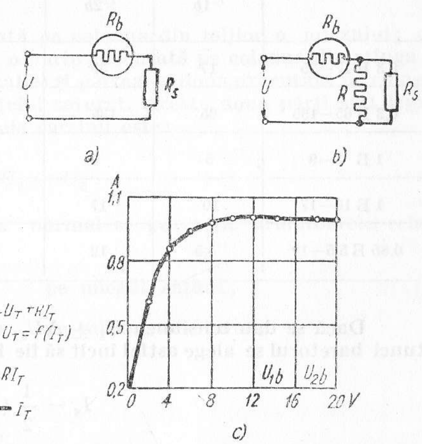


Fig. 60. — Stabilizator cu baretor.

vid şi apoi se introduce hidrogen. Se întrebuinţează şi baretoare cu filament din wolfram. Funcţionarea stabilizatorului este bazată pe variaţia rezistenţei specifice a conductorului în funcţie de creşterea de temperatură. Caracteristica baretorului $I = f(U)$ este arătată în fig. 60 c. Pe porţiunea utilă a caracteristicii $U_{1b} - U_{2b}$ (regiunea de baretare) variaţia relativă a curentului nu depăşeşte 3 %.

În fig. 60 a se arată întrebuinţarea baretorului ca stabilizator de curent şi în fig. 60 b ca stabilizator de tensiune (pentru R_s constant).

La conectarea baretorului, din cauza inerției sale termice și a rezistenței inițiale mici, curentul inițial este de 2–3 ori curentul nominal. Această perioadă inițială este de 0,5 pînă la cîteva secunde. La baretoarele cu wolfram domeniul de baretare este mai mic decît la baretoarele cu rezistență din oțel-hidrogen: în schimb acestea au o construcție mai simplă, sînt mai stabile în funcționare, și au o durată de funcționare mai mare. Baretoarele oțel-hidrogen se conectează pentru protecție, în unele cazuri, în serie cu o rezistență cu coeficient negativ de temperatură (din bioxid de uraniu). Baretoarele se confecționează pentru curenți pînă la zeci de amperi, pentru tensiuni pînă la sute de volți și pentru puteri pînă la sute de wați. Durata de funcționare pentru diferite tipuri de baretoare variază între 1000 și 5000 h.

Datorită inerției termice, baretoarele pot funcționa și în scheme de stabilizare pentru curent alternativ, fără a produce o deformare a curbei curentului, chiar pentru frecvențe foarte joase. Baretoarele stabilizează însă numai variații lente ale tensiunii de intrare. Variațiile bruște ale tensiunii se transmit în circuitul de sarcină fără schimbare.

În tabela 6 sînt date caracteristicile pentru cîteva tipuri sovietice de baretoare.

Tabela 6. Caracteristicile unor baretoare sovietice

Tipul	Tensiunile de baretare, V		$I_b = \frac{I_1+I_2}{2}$, A	Timpul maxim pentru stabilirea curentului nominal, min	Timp de funcționare, h
	U_{1b}	U_{2b}			
0,3 Б 17–35	17	35	0,3±0,025	5	–
0,3 Б 65–135	65	135	0,3±0,025	5	
1 Б 5–9	5	9	1,0±0,04	5	4000
1 Б 10–17	10	17	1,0±0,04	5	4000
0,85 Б 5,5–12	5,5	12	0,85±0,02	–	–

Dacă se dau tensiunea $U_1 \pm \Delta U_1$, curentul și rezistența de sarcină I_s și R_s, atunci baretorul se alege astfel încît să fie îndeplinite condițiile:

$$I_s = \frac{1}{2}(I_1 + I_2);$$

$$U_1 - \Delta U_1 \geqslant R_s I_s + U_{1b}; \quad U_1 + \Delta U_1 \leqslant R_s I_s + U_{2b}.$$

Dacă: $$U_1 > U_{2b} + R_s I_s$$

se conectează în serie o rezistență suplimentară r:

$$r = \frac{U_1 - \frac{1}{2}(U_{1b} + U_{2b})}{1/2\,(I_1 + I_2)}$$

Dacă $I_s < \frac{I_1 + I_2}{2}$ atunci în paralel cu sarcina se conectează o rezistență

$$R = \frac{R_s\, I_s}{1/2\,(I_1 + I_2) - I_s}.$$

34. Stabilizatoarele magnetice întrebuințate pentru tensiuni alternative folosesc ca rezistențe neliniare înfășurări pe miez de oțel saturat; schema lor tipică este arătată în fig. 61.

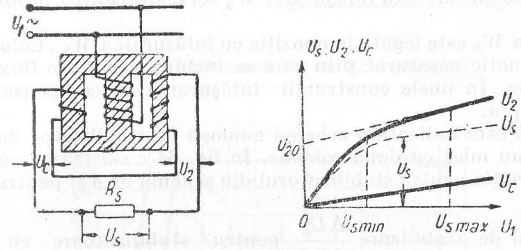


Fig. 61. – Stabilizator magnetic.

Înfășurarea primară este executată pe coloana din mijloc a miezului; cea secundară este compusă din două părți: o parte executată pe coloana din stînga cu oțelul nesaturat (înfășurarea de compensație) și partea a doua executată pe coloana din dreapta, de secțiune mai mică, cu oțelul saturat. Aceste două părți sînt legate în opoziție, astfel că tensiunea la bornele sarcinii este:

$$U_s = U_2 - U_c.$$

Pentru intervalul de funcționare normal se pot scrie următoarele relații analitice (v. fig. 61 *b*):

$$U_2 = U_{20} + a\,U_1 \qquad \text{pe miezul satuat;}$$

$$U_c = b\,U_1 \qquad \text{pe miezul nesaturat;}$$

$$U_s = U_{20} + (a - b)\,U_1$$

și deci

$$K = \frac{\Delta U_s}{\Delta U_1} = a - b.$$

Dacă se execută înfășurările astfel încît $a \approx b$, coeficientul de stabilizare K tinde către zero; în practică $K = \frac{1}{15} \cdots \frac{1}{20}$.

Randamentul stabilizatoarelor magnetice este de 0,4 ⋯ 0,6. Variațiile tensiunii stabilizate în funcție de variațiile frecvenței tensiunii primare sînt mai mici la stabilizatoarele magnetice decît la cele cu ferorezonanță.

35. **Stabilizatoare cu ferorezonanţă** folosesc înfăşurări pe miezuri de oţel saturat cum şi condensatoare. În fig. 62 *a* este arătată o schemă simplă a unui astfel de stabilizator. Schema din fig. 62 *b* este a unui stabilizator sovietic CH Φ care are o înfăşurare suplimentară de compensaţie W_k pe miezul nesaturat, legată în opoziţie cu tensiunea de ieşire, aceasta pentru a stabiliza funcţionarea. În fig. 63 s-a trasat curba $U_s = f(U_1)$ pentru acest stabilizator, pentru două valori ale sarcinii.

O schemă foarte întrebuinţată pentru stabilizatoare cu ferorezonanţă, executată pe un miez cu trei coloane este arătată în fig. 64 *a*. Înfăşurarea primară W_1 este executată pe coloana nesaturată din mijloc pe care se găseşte şi înfăşurarea de compensaţie W_k. Pe coloana din stînga, saturată, se execută înfăşurarea de rezonanţă W_c. O parte din această înfăşurare, W_2 serveşte pentru producerea tensiunii de ieşire.

Înfăşurarea W_k este legată în opoziţie cu înfăşurarea W_2. Coloana din dreapta este un şunt magnetic nesaturat prin care se închide parte din fluxul magnetic din coloana din mijloc. În unele construcţii înfăşurarea de compensaţie se aşază pe coloana din dreapta.

În fig. 64 *b* este indicată o schemă analogă de stabilizator cu ferorezonanţă, executat însă pe un miez cu două coloane. În fig. 64 *c* s-a trasat curba $U_s = f(U_1)$ în procente de variaţie pentru stabilizatorul din schema 64 *a* şi pentru două valori ale sarcinii.

Coeficientul de stabilizare $\frac{\Delta U_s}{\Delta U_1}$ pentru stabilizatoare cu ferorezonanţă este $\frac{1}{10} \cdots \frac{1}{50}$.

C a l c u l u l s t a b i l i z a t o a r e l o r c u f e r o r e z o n a n ţ ă se face de obicei întrebuinţîndu-se formule empirice aproximative stabilite pentru anumite tipuri de stabilizatoare. Caracteristicile stabilizatoarelor astfel calculate depind de forma miezului şi de aşezarea înfăşurărilor. Din această cauză numărul spirelor înfăşurării secundare şi de compensaţie se face cu 20—30 % mai mare decît rezultă din calcul; pe aceste spire se scot la intervale egale 10—12 prize pentru reglaj. Acest reglaj trebuie executat în condiţiile în care va funcţiona stabilizatorul în exploatare.

Calculul stabilizatorului din fig. 64 *a* se face întrebuinţîndu-se formulele empirice [1]) care urmează.

Numărul de volţi pe spiră e_0 în înfăşurarea primară se alege pentru $f = 50$Hz între limitele 0,35 şi 0,9; limita inferioară corespunde la stabilizatoare de aproximativ 100 VA sau mai mici, iar limita superioară la stabilizatoare de 1000 VA sau mai mari.

Din formula:

$$e_0 = 4{,}44\ B_1\ S_1\ f \cdot 10^{-8}\ V/\text{spiră}, \tag{35.1}$$

unde B_1 este inducţia în gauşi în miezul nesaturat ($B_1 = 8000 \ldots 10.000$ gauşi) se deduce valoarea secţiunii S_1, în cm². Secţiunea coloanei saturate se ia $S_2 = 0{,}588\ S_1$, iar aceea a şuntului magnetic $S_m = 0{,}4\ S_1$.

Puterea reactivă a condensatorului, P_c, este:

$$P_c = (3{,}5 \cdots 2{,}5)\ P_s, \tag{35.2}$$

în care P_s este sarcina, în VA.

[1]) Stabilite de *A. M. Bamdas, B. V. Beliaev* şi *S. E. Rostkovskaia*, Compararea tipurilor de stabilizatori de tensiune cu ferorezonanţă şi calculul stabilizatorilor, Bul. Ind. Electrotehnice, nr. 10, 1944.

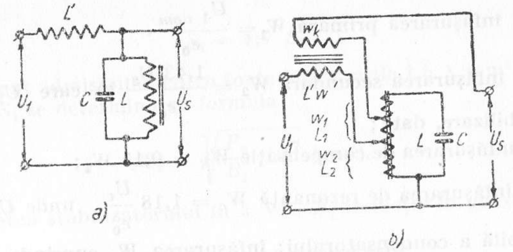


Fig. 62. — Stabilizatoare cu ferorezonanţă.

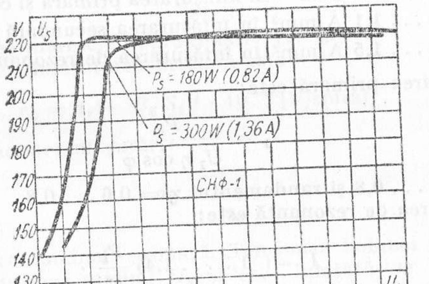


Fig. 63. — Curba de stabilizare.

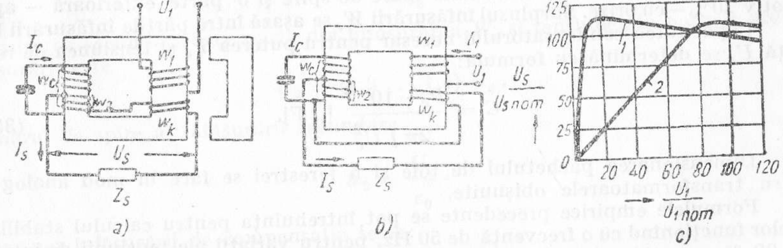


Fig. 64. — Stabilizatoare cu ferorezonanţă: *a* — cu trei coloane; *b* — cu două coloane; c — curba $U_s = f(U_1)$ în gol (*1*) şi la plină sarcină (*2*).

Numărul de spire pentru diversele înfăşurări se determină în felul următor:

a) pentru înfăşurarea primară $W_1 = \frac{U_{1\ nom}}{e_0}$.

b) pentru înfăşurarea secundară $W_2 = \frac{1{,}43\ U_2}{e_0}$ în care U_2 este tensiunea nominală de stabilizare, dată;

c) pentru înfăşurarea de compensaţie $W_k = 0{,}15\ W_2$;

d) pentru înfăşurarea de rezonanţă $W_c = 1{,}18\ \frac{U_c}{e_0}$, unde U_c este tensiunea de regim admisibilă a condensatorului: înfăşurarea W_c cuprinde ca o parte a sa înfăşurarea W_2.

Densităţile admisibile de curent pentru diferitele înfăşurări sînt:

2 . . . 1,7 A/mm² în înfăşurarea primară şi cea de compensaţie;
1,5 . . 1,1 A/mm² în înfăşurarea secundară;
1,8 . . . 1,5 A/mm² în înfăşurarea de rezonanţă.

Curentul în înfăşurarea primară este:

$$I_1 = \frac{P_s}{U_1\, \eta\, \cos\varphi}, \tag{35.3}$$

în care $\cos\varphi = 0{,}6 \ldots 0{,}8$ şi randamentul $\eta = 0{,}6 \ldots 0{,}8$.
Curentul în înfăşurarea de rezonanţă este:

$$I = (1{,}3 \ldots 1{,}4)\,\frac{P_s}{U_c} \tag{35.4}$$

Curentul în înfăşurarea secundară:

$$I_2 = \sqrt{I_c^2 + I_s^2}. \tag{35.5}$$

Pentru reglajul stabilizatorului, pe înfăşurările W_2, W_c şi W_k sînt necesare 8—10 prize de ajustare. Înfăşurarea W_2 este de obicei împărţită în două părţi neegale: o parte interioară cu un număr mare de spire şi o parte exterioară — aproximativ 20 % — cu prize. Surplusul înfăşurării W_c se aşază între părţile înfăşurării W_2.

Capacitatea condensatorului necesar pentru puterea P_c şi tensiunea de rezonanţă U_c se determină cu formula:

$$C = \frac{P_c \cdot 10^{-6}}{2\pi\, f\, U_c^2}\ [\mu\,\mathrm{F}]. \tag{35.6}$$

Dimensionarea pachetului de tole şi a ferestrei se face în mod analog ca pentru transformatoarele obişnuite.

Formulele empirice precedente se pot întrebuinţa pentru calculul stabilizatoarelor funcţionînd cu o frecvenţă de 50 Hz, pentru variaţii ale tensiunii de intrare de $-20\ \% \ldots +10\ \%$, cum şi pentru variaţii ale $\cos\varphi$ al sarcinii de 0,4 . . . 1. În aceste condiţii variaţiile tensiunii de ieşire nu trec $\pm$ 1,5 %. Pentru calculul unui stabilizator cu ferorezonanţă de tipul din fig. 64 *b* se întrebuinţează formulele empirice de mai jos, stabilite de M. G. Lozinski. [1]

[1]) *M.G. Lozinski*, Stabilizatorii de tensiune cu ferorezonanţă, V.E. P., nr. 12, 1937.

Între secţiunea S_1 din coloana nesaturată şi secţiunea S_2 din coloana saturată se admite relaţia:

$$S_1 = 1{,}7\ S_2.$$

Densitatea de curent admisibilă pentru toate înfăşurările 1,5 A/mm².

Secţiunea S_1 se determină cu formula:

$$S_1 = \sqrt{\frac{P_s}{B_1}} \cdot 10^7\ [\mathrm{cm}^2], \tag{35.7}$$

unde P_s este puterea stabilizatorului în k VA, B_1 inducţia în gauşi ($B_1 = 8000 \ldots 10\,000$ gauşi).

Inducţia B_2 în a doua coloană, cu oţel saturat este:

$$B_2 = B_1\,\frac{S_1}{S_2} = 1{,}7\,B_1.$$

Secţiunile astfel alese se măresc cu aproximativ 10 %.
Tensiunea unei spire din înfăşurarea primară este:

$$e_0 = 4{,}44\ B_1\ S_1\ f\ 10^{-8}\ [\mathrm{V/spiră}]$$

şi numărul de spire al acestei înfăşurări:

$$w_1 = \frac{U_1}{e_0},$$

în care U_1 este tensiunea nominală primară. Tensiunea bobinei de rezonanţă U_c se ia mai mare decît tensiunea sarcinii U_s şi este limitată de tensiunea de lucru admisibilă a condensatorului

$$U_c = (2 \ldots 4)\ U_s$$

Numărul de spire al înfăşurării de rezonanţă este

$$w_c = \frac{U_c}{e_0}.$$

Înfăşurarea secundară face parte din înfăşurarea W_c şi tensiunea la bornele acestei înfăşurări este

$$U_2 = (1{,}3 \ldots 1{,}4)\ U_s.$$

Numărul de spire al înfăşurării secundare

$$w_2 = \frac{U_2}{e_0}.$$

Tensiunea înfăşurării de compensaţie se ia:

$$U_k = (0{,}3 \ldots 0{,}4)\ U_s$$

şi numărul de spire al acestei înfăşurări:

$$w_k = (0{,}3 \ldots 0{,}4)\ \frac{U_s}{e_0}$$

Pentru reglajul stabilizatorului sînt necesare 5—10 prize pe înfășurarea secundară, de compensație și de rezonanță, pe ultimile 25 % din spirele lor. Capacitatea condensatorului C se calculează cu formula:

$$C = \frac{(2-8)\, P_s \cdot 10^6}{2\pi f\, U_c^2} \, [\mu\, \mathrm{F}],$$

în care P_s este puterea sarcinii [1]).

36. **Caracteristicile generale ale stabilizatoarelor cu circuit magnetic saturat.** Aceste stabilizatoare se construiesc numai pentru tensiuni alternative, pentru o gamă foarte variată de tensiuni stabilizate și de puteri mai mici de 1—2 kW. Avantajele lor principale sînt:

— costul redus;
— confecționarea relativ simplă;
— siguranță în exploatare;
— inerție redusă;
— randament relativ mare, pînă la 0,7—0,8;
— o stabilizare a tensiunii de ieșire de aproximativ 0,5—1 % în condiții obișnuite de funcționare.

Dezavantajele lor sînt următoarele:

— variație importantă a tensiunii de ieșire în funcție de variația frecvenței tensiunii de alimentare; aceste variații sînt de 1—2 % pentru fiecare variație de 1 % a frecvenței;
— variația stabilității în funcție de caracterul sarcinii (inductivă sau capacitivă);
— deformarea importantă a curbei de tensiune stabilizate, din cauza apariției armonicilor produsă de saturația miezului magnetic. În unele cazuri se folosesc circuite speciale de absorbție, acordate pe frecvențele armonicilor.

În tabela 7 se indică caracteristicile a trei stabilizatoare cu ferorezonanță de fabricație sovietică.

Tabela 7. Stabilizatoare cu ferorezonanță sovietice

Tip	Puterea VA	Tensiunea U_1 nominală de alimentare V	Limitele de variație a tensiunii U_1 V	Tensiunea nominală de ieșire pentru plină sarcină activă V	Curent nominal A	Oscilațiile admisibile ale tensiunii de ieșire la plină sarcină %
ЭПА—15	100	110—120/220	95—120 185—230	120±3	0,8	±0,5
ЭПА—27	500	110—120/220	95—120 185—230	220±5	2,3	±0,5
ЭПА—58	750	110—120/220	95—120 185—230	220±5	3,4	±0,5

Pentru construirea stabilizatoarelor cu ferorezonanță avînd puteri mai mari de 500 VA este necesar să se prevadă canale de aerisire mai largi de 8 mm, iar la puteri peste 4 kVA peste 12 mm. Pentru puteri pînă la 2kVA se folosesc condensatoare cu hîrtie, cu tensiunea de lucru peste 500 V.

[1]) Pentru calculul stabilizatoarelor prin metode analitice se poate consulta articolul: Calculul stabilizatorilor de tensiune cu ferorezonanță de *G. K. Evdokimov*, ВЭП, nr. 3, 1950.

b) Stabilizatoare prin compensație

37. **Stabilizatoarele electronice** se întrebuințează în alimentarea instalațiilor cuprinzînd tuburi electronice și se execută pentru curenți de la microamperi pînă la cîțiva amperi, pentru tensiuni de la zeci de volți pînă la zeci de kilovolți. Sînt caracterizate printr-o inerție redusă și mare stabilitate. Ca elemente amplificatoare și de execuție se întrebuințează tuburi electronice și ca sursă de tensiune continuă, E_{st}, servesc de cele mai multe ori stabilovolți. Cea mai simplă schemă de stabilizator electronic, cu un amplificator cu un etaj este dată în fig. 65; ea cuprinde un stabilovolt S, un divizor de tensiune format din rezistențele R_1 și R_2 un tub T_2 care amplifică de K ori tensiunea $\alpha\, U_2 - E_s$ $\left(\text{în care } \alpha = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)$ și un tub T_1 care constituie o rezistență variabilă reglată de tensiunea $K(\alpha U_2 - E_s)$ aplicată pe grilă. Rezistența R_3 este introdusă în schemă pentru a asigura curentul minim necesar funcționării normale a stabilovoltului.

O categorie specială o formează stabilizatoarele electronice de tensiune pentru generatoarele de curent continuu și alternativ. Drept element de execuție servește însăși înfășurarea de excitație a generatorului. Diferența tensiunilor ($\alpha\, U_2 - E_s$) acționează asupra unui tub amplificator în al cărui circuit anodic este legată înfășurarea de excitație a generatorului.

Coeficientul de stabilizare pentru stabilizatoarele electronice $\frac{\Delta U_2}{\Delta U_1}$ este $\frac{1}{30} \dots \frac{1}{40}$ pentru variații de ± 20 % ale tensiunii U_1 și pentru o variație de la 0 la maximum, a curentului în circuitul de sarcină. Acest coeficient de stabilizare în schemele mai complicate poate ajunge la $\frac{1}{100} \dots \frac{1}{400}$.

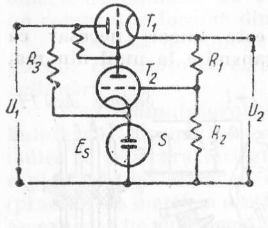


Fig. 65. — Stabilizator electronic cu compensație.

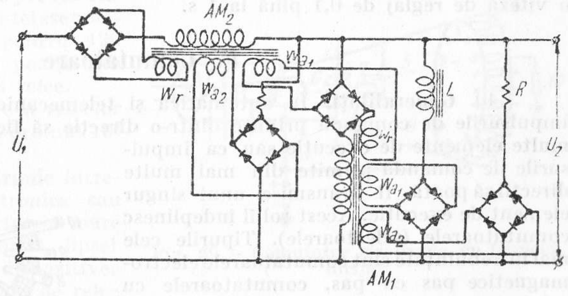


Fig. 66. — Stabilizator de tensiune cu amplificatoare magnetice.

38. **Stabilizatoarele de tensiune cu amplificatoare magnetice.** Schema unui astfel de stabilizator este arătată în fig. 66. Inerția amplificatoarelor magnetice se măsoară aproximativ prin constanta de timp a înfășurării de curent continuu și este uneori destul de mare încît să împiedice întrebuințarea stabilizatoarelor de acest tip acolo unde se cere un răspuns rapid la variațiile tensiunii de alimentare U_1. Inerția totală a sistemului crește dacă și elementul de amplificare este un amplificator magnetic. Înfășurarea de comandă W_r creează reacția pozitivă iar înfășurările W_{a1} și W_{a2} produc cîmpuri în opoziție. În elementul de măsurare este folosită

neliniaritatea bobinei de reactanță saturate L. Parametrii schemei sînt astfel aleși încît la tensiunea nominală U_2 cîmpul magnetic rezultant produs de înfășurările W_{a1} și W_{a2} ale amplificatorului AM_2 să fie nul. Aceste stabilizatoare suportă șocuri și vibrații și au durată de funcționare nelimitată.

39. **Stabilizatoarele de tensiune cu cărbune** se bazează pe proprietatea plăcilor de cărbune suprapuse de a-și modifica rezistența electrică, la variația presiunii exercitate asupra lor. Pentru mărirea sensibilității stabilizatoarelor cu cărbune, plăcile se montează în coloane. Stabilizatoarele se construiesc astfel încît datorită deplasării mecanice a organelor de execuție, o dată cu variația tensiunii de ieșire variază și presiunea asupra coloanei de cărbune, iar ca urmare variază și rezistența electrică a ei. Valoarea tensiunii se transformă deci într-o valoare de presiune. Astfel de dispozitive se construiesc de cele mai multe ori pe baza metodei prin compensare. În elementul de măsurare al acestora tensiunea de ieșire se compară cu forța unui arc. Coloanele de cărbune se asamblează din plăcuțe plane sau din discuri rotunde a căror rezistență este formată din rezistența plăcuțelor sau discurilor plus rezistența de contact dintre acestea. Valoarea rezistențelor de contact depinde de presiunea exercitată asupra coloanei de cărbune. Puterea limită a coloanei de cărbune este limitată de temperatura maximă admisibilă de lucru a cărbunelui, aproximativ 250°C.

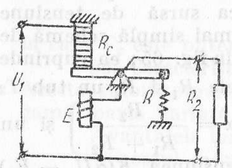


Fig. 67. — Stabilizator cu cărbune ЭH-350.

În fig. 67 este dată schema de principiu pentru un astfel de stabilizator. Coloana de cărbune este conectată în circuitul de excitație al unui generator electric. La creșterea tensiunii U_1 crește curentul în bobina electromagnetului E, presiunea rezultantă asupra coloanei de cărbune scade iar rezistența R_c a acesteia crește. Se produce deci o scădere a curentului de excitație și a tensiunii produse de generator. Valoarea tensiunii de stabilizat se reglează prin arcul R.

Aceste stabilizatoare dau o tensiune de ieșire cu variații de 1–2 % și au o viteză de reglaj de 0,1 pînă la 1 s.

F. Comutatoare

40. **Generalități.** În automatică și telemecanică este uneori necesar ca impulsurile de comandă primite dintr-o direcție să fie transmise la unul din mai multe elemente de execuție sau ca impulsurile de comandă primite din mai multe direcții să poată fi transmise unui singur element de execuție. Acest rol îl îndeplinesc comutatoarele (selectoarele). Tipurile cele mai întrebuințate sînt comutatoarele electromagnetice pas cu pas, comutatoarele cu relee și comutatoarele electronice.

41. **Comutatorul pas cu pas** reprezentat în fig. 68 are un cîmp de contacte fixe, în arc de cerc, format din cîteva rînduri de lamele izolate pe care le ating pe rînd periile $a-d$ care se rotesc în jurul axului oo. Numărul periilor este egal cu numărul rîndurilor de lamele. Fiecare perie este formată din două lame elastice care freacă cîte una pe fiecare parte a lamelei de contact. Dacă într-un rînd sînt 10 lamele (0÷9), periile vor putea avea într-un ciclu 10 poziții de contact și în fiecare poziție

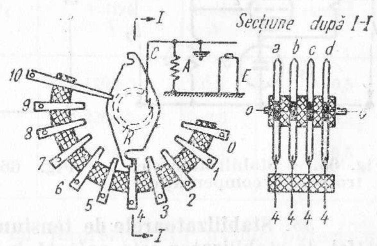


Fig. 68. — Comutator pas cu pas.

vor putea închide (cazul fig. 68) patru circuite independente. Periile se deplasează de pe o lamelă pe alta prin salturi, ca urmare a antrenării roții dințate R de un clichet C, care are un dispozitiv de acționare electromagnetic E prevăzut cu un arc antagonist A. La comutatorul cu acționare directă (cazul din fig. 68), cînd electromagnetul atrage, axul cu perii este rotit cu un pas. Cînd curentul din electromagnet se întrerupe clichetul este adus în poziția de repaos de către arcul A și poziția periilor nu se schimbă. La comutatorul cu acțiune indirectă, cînd electromagnetul atrage, este întins un arc. Periile trec pe poziția următoare sub acțiunea acestui arc atunci cînd se întrerupe curentul în electromagnet. Pentru a face un ciclu complet comutatorul din fig. 68 trebuie să primească 10 impulsuri [1]). Uneori comutatorul are și contacte speciale: contacte de rotație care se comută la fiecare pas și contacte de sfîrșit de cursă care se comută numai o dată la parcurgerea unui ciclu complet (nu s-au reprezentat pe figură). Numărul de lamele pe un ciclu variază între 10 și 50, iar numărul de grupe de lamele și deci de perii între 4 și 8. Roata dințată se execută din bronz special rezistent, clichetul din oțel, lamele de contact din alpaca, iar periile din alpaca sau bronz fosforos. Alimentarea electromagnetului se face de la o sursă de curent continuu de 24, 48 sau 60 V. Viteza de funcționare este aproximativ 10 pași pe secundă. În comutatoarele de fabricație sovietică, cîmpul de contacte are 11, 17, 25 și 50 lamele dispuse în 4–8 rînduri. Durata de funcționare a acestor comutatoare este de aproximativ 500 000 rotații, necesitînd însă ungere și revizie a reglajului la aproximativ 50 000 rotații. Datele caracteristice sînt: tensiunea nominală de alimentare și toleranțele respective, presiunea periilor pe lamelele de contact, viteza de rotație și intensitatea curentului suportat de perii și contacte.

42. **Comutatorul cu relee** se execută sub forma unui lanț de relee cari funcționează succesiv la primirea impulsurilor, stabilind cu ajutorul contactelor lor, circuite de execuție corespunzătoare cu grupul de impulsuri primite. Releele sînt de tipul telefonic cu alimentare în curent continuu sub 24, 48 sau 60 V. Numărul de relee care intră în compunerea unui astfel de comutator este în funcție de numărul de circuite de execuție diferite prevăzute. Ansamblul de telecomandă și telesemnalizare sovietic tip KPП pentru 120 obiecte comandate, cu două poziții are un comutator format din 13 relee.

Durata de funcționare a releelor acestor comutatoare este de ordinul 10^7 acționări.

43. **Comutatorul electronic** întrebuințează dispozitive electronice sau ionice și este caracterizat printr-o mare rapiditate de acțiune, datorită lipsei (practic) de inerție a acestor dispozitive. Se execută fie sub formă de lanț de relee electronice sau ionice sau sub o formă analogă cu a tuburilor catodice (fig. 69). Este foarte întrebuințat în schemele moderne de telecomandă. Cu comutatorul de tipul din fig. 69 (cu fascicol dirijat) se pot obține 10^4 comutări pe secundă. Acest comutator cuprinde: un catod *1*, grila *2*, anozii *3* și *4* care centrează raza electronică *5*, două perechi de plăci deflectoare *6* și *7*, șirul de contacte *8* așezate pe un cerc și un ecran metalic *9* cu deschidere în fața fiecărui contact. Pe fiecare pereche de plăci *6* și *7* se aplică cîte o tensiune sinusoidală de aceeași frecvență și amplitudine, defa-

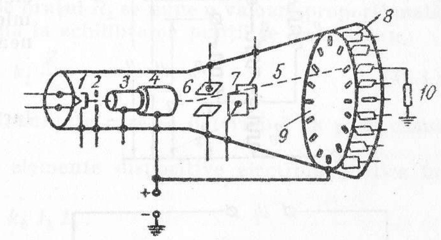


Fig. 69. — Comutator electronic cu fascicol dirijat.

[1]) Lamela 10 servește la stabilirea legăturii electrice cu peria în mișcare. Peria este prelungită pe ambele părți ale axului pentru a se micșora timpul mediu în care ajunge pe o anumită lamelă.

zate cu 90°. Se creează în felul acesta un cîmp electric învîrtitor care deplasează raza *5* pe circumferinţa pe care sînt contactele. Datorită ecranului *9* raza cade numai pe un contact. Toţi electronii dispersaţi în afară de raza principală cad pe ecran şi sînt duşi spre anodul *4*. Pentru contactele *8* se alege un metal cu un coeficient mare de emisie secundară. Electronii acestei emisii secundare sînt dirijaţi spre ecranul *9* care are un potenţial pozitiv. Fiecare contact este legat printr-un organ de execuţie *10* la polul negativ al sursei anodice şi — la căderea razei electronice — va trece prin acest circuit un curent care este de ordinul 1 mA.

G. Elemente de calcul

44. Generalităţi. Elementele de calcul care vor fi descrise în acest subcapitol efectuează operaţii matematice simple care se întîlnesc de obicei în automatică şi telemecanică şi anume: adunare, scădere, înmulţire, împărţire, cum si operaţii elementare de calcul diferenţial şi integral. Nu vor fi descrise elementele complexe cari intră în componenţa maşinilor moderne de calcul destinate rezolvării ecuaţiilor integro-diferenţiale.

Principiul general de construcţie al elementelor de calcul constă în transformarea în prealabil a acţiunilor în mărimi proporţionale cu aceste acţiuni însă de o natură fizică mai potrivită pentru operaţii de calcul matematic. Aceste mărimi intermediare sînt mărimi mecanice (deplasări unghiulare sau liniare), mărimi electrice (f.e.m., curenţi, rezistenţe) sau mărimi electromecanice produse prin acţiunea curenţilor electrici (deplasări unghiulare sau cupluri). În general se folosesc elemente în care aceste operaţii se fac cu mărimi electrice sau electromecanice.

45. Elemente pentru adunare. În fig. 70 *a* s-a indicat o schemă de însumare în care mărimea intermediară proporţională cu acţiunea de însumat este un curent electric. Rezistenţa R_0 se alege mult mai mică decît rezistenţele $R_1 \dots R_n$. Tensiunea U_x de la bornele rezistenţei R_0 este:

$$U_x = R_0 [I_1 + I_2 + \dots + I_n],$$

iar:

$$I_1 = \frac{U_1 - U_x}{R_1} \approx \frac{U_1}{R_1}; \dots;$$

$$I_n = \frac{U_n - U_x}{R_n} \approx \frac{U_n}{R_n} \qquad (45.1)$$

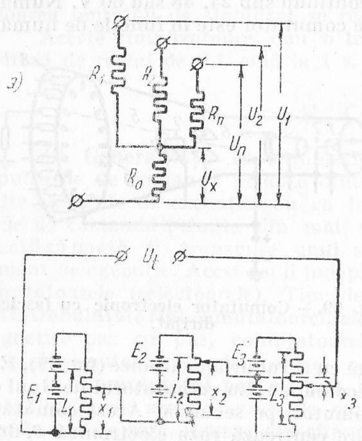


Fig. 70. — Scheme de însumare.

Dacă $R_1 = R_2 = \dots = R_n$ şi $U_x \ll U_1$, atunci U_x este proporţional cu suma tensiunilor care acţionează în circuitele separate. În loc să se măsoare tensiunea U_x, se poate măsura valoarea curentului total, de exemplu cu ajutorul unui instrument de măsură magnetoelectric; în acest caz unghiul de deviere este proporţional cu suma curenţilor. Se poate de asemenea întrebuinţa un amplificator magnetic şi curentul alternativ de ieşire I_a va fi proporţional cu ΣI_c, I_c fiind curenţii continui care se adună. Dacă fiecare I_c trece printr-un circuit de comandă separat al amplificatorului magnetic; avînd însă acelaşi număr de spire w, amperspirele de comandă

ale amplificatorului vor fi date de suma $\Sigma w I_c = w \Sigma I_c$. Dacă circuitele curenţilor de comandă au aceeaşi rezistenţă totală R, atunci:

$$w \Sigma I_c = \frac{w}{R} \Sigma U_c,$$

adică valoarea lui I_a reprezintă în aceste condiţii o însumare a tensiunilor U_c.

În fig. 70 *b* se arată o schemă de însumare potenţiometrică. Poziţia cursoarelor x_1, x_2, x_3 este legată de parametrii de însumat X_1, X_2, X_3 prin

$$\frac{x_1}{X_1} = K_1; \quad \frac{x_2}{X_2} = K_2; \quad \frac{x_3}{X_3} = K_3.$$

Se poate stabili uşor, cu notaţiile de pe figură, că:

$$U_t = \frac{E_1}{L_1} K_1 X_1 + \frac{E_2}{L_2} K_2 X_2 + \frac{E_3}{L_3} K_3 X_3, \qquad (45.2)$$

sau, dacă se construieşte dispozitivul astfel încît coeficienţii să fie toţi egali cu k_0,

$$U_t = k_0 \, (X_1 + X_2 + X_3). \qquad (45.3)$$

Această relaţie este valabilă numai dacă rezistenţa circuitului exterior potenţiometrelor este mare. Conectarea potenţiometrelor *1* şi *2* este arătată pentru cazul cînd mărimile X_1 şi X_2 au acelaşi semn. Potenţiometrul *3* este astfel conectat încît mărimea X_3 poate avea semn diferit de X_1 şi X_2.

46. Elemente pentru înmulţire sau împărţire. Pentru astfel de operaţii se întrebuinţează cel mai des o schemă în punte. În două braţe opuse se conectează rezistenţele R_1 şi R_2 a căror mărime este proporţională cu valoarea mărimilor de înmulţit, X şi Y. În celelalte braţe se conectează o rezistenţă fixă R_a şi o rezistenţă variabilă R_z. Cînd puntea se echilibrează $XY = k_0 R_z$, în care k_0, coeficientul de proporţionalitate se determină pe baza relaţiilor de proporţionalitate între R_1 şi X, între R_2 şi Y şi a valorii R_a. Dacă pe braţul R_z se pune o valoare proporţională cu o mărime Z, atunci variind pe R_2 pînă la echilibrarea punţii se va obţine:

$$Y = k_1 \frac{Z}{X}, \qquad (46.1)$$

în care k_1 este un coeficient de proporţionalitate care se determină ca şi în cazul precedent.

Uneori se folosesc pentru aceste elemente dispozitive electromagnetice în care cuplul motor are forma:

$$M_m = k_0 \, I_1 I_2 .$$

Dacă se face $I_1 = k_1 X$ şi $I_2 = k_2 Y$, atunci:

$$M_m = k_0 \, k_1 \, k_2 \, X \, Y,$$

în care X şi Y sînt mărimile de înmulţit. Dacă momentul rezistent este creat de un arc şi este de forma $C\alpha$, în care α este unghiul de rotaţie al sistemului, atunci la echilibru:

$$\alpha = \frac{k_0 \, k_1 \, k_2}{C} X \, Y.$$

Drept element de împărţire se poate folosi logometrul la care unghiul de rotire α depinde de raportul curenţilor şi deci:

$$\alpha = f\left(\frac{X}{Y}\right).$$

47. **Elemente pentru calculul diferențial și integral.** Aceste calcule sînt foarte des întrebuințate în instalațiile automate de centralizare. Se vor examina în cele ce urmează tipurile cele mai importante.

α) *Elemente de diferențiere și integrare electrice.* Se întrebuințează în acest scop transformatoare și circuite RC sau RL. Dacă curentul i_1 în primarul unui transformator variază proporțional cu mărimea X, $i_1 = kX$, atunci tensiunea la bornele secundarului transformatorului este:

$$e = \frac{n_1 n_2 k}{R_m}\frac{dX}{dt},$$

în care n_1 și n_2 sînt numerele de spire ale înfășurărilor transformatorului și R_m reluctanța circuitului magnetic.

Schema unui element RC care servește pentru diferențiere este reprezentată în fig. 71. Cu notațiile din figură se pot obține următoarele relații (u_c fiind tensiunea la bornele condensatorului):

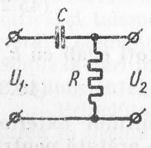


Fig. 71. — Element RC pentru diferențiere.

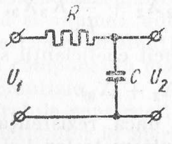


Fig. 72. — Element RC pentru integrare.

$$i = C\frac{du_c}{dt}; \quad U_2 = Ri; \quad \frac{du_1}{dt} = \frac{u_2}{RC} + \frac{du_2}{dt};$$

dacă $RC \ll 1$, atunci

$$u_2 \approx RC\frac{du_1}{dt}.$$

În fig. 72 este reprezentată schema unui element pentru integrare. În acest caz:

$$u_1 = RC\frac{du_c}{dt} + u_c$$

și dacă $RC \gg 1$:

$$u_2 = u_c \approx \frac{1}{RC}\int_0^t u_1\,dt.$$

Elemente de calcul construite cu inductanțe L în loc de capacități C se întîlnesc mai rar.

β) *Elemente de diferențiere și integrare electromecanice* Pentru diferențiere se folosesc generatoare mici de curent continuu și mai rar de curent alternativ denumite tahogeneratoare. Dacă unghiul de rotație al generatorului α este proporțional cu mărimea X, atunci f.e.m. produsă este:

$$e = k_0\omega = k_0\frac{d\alpha}{dt} = k_0k_1\frac{dX}{dt}$$

Determinarea lui k_0 se face experimental după curbele $U = f(\omega)$ pentru diferite rezistențe de sarcină cu $k_0 = \frac{\Delta U}{\Delta\omega}$. Trebuie notat că pentru a se învîrti generatorul este necesar un cuplu:

$$M_m = M_0 + \frac{C}{R_0 + R_s}\omega,$$

în care:

M_0 este momentul forțelor de frecare;

$C = k_0^2 \cdot 10^{-8}$ — constanta tahogeneratorului;

R_0 și R_s — rezistența interioară și rezistența de sarcină a tahogeneratorului.

Ca element de integrare se poate întrebuința un electromotor mic de curent continuu sau alternativ în care:

$$\omega = \frac{d\alpha}{dt} = kU,$$

adică o legătură liniară între viteză și tensiunea aplicată.

Coeficientul $k = \frac{\Delta\omega}{\Delta U}$ se determină cu ajutorul caracteristicei $\omega = f(U)$

$$\alpha = k\int_0^t U\,dt.$$

Caracteristica reală, ținîndu-se seama de U_p tensiunea de pornire, este:

$$\omega = \frac{d\alpha}{dt} = k(U - U_p)$$

și deci:

$$\alpha \approx k\int_0^t U\,dt - kU_p t.$$

Dacă se alege un motor cu U_p mic, eroarea care se face neglijîndu-se această valoare poate fi mai mică decît 0,5 – 1 %.

γ) *Elementele de integrare electrodinamice* sînt construite după principiul contoarelor electrice (fig. 73). Cuplul este:

$$M_m = k_1\Phi I_x,$$

în care Φ este fluxul creat de sistemul *1* prin magneți permanenți sau cu un curent constant I_0 (fig. 73); I_x este curentul care circulă prin bobina *2*. Discul de aluminiu *3*, care se învîrte în cîmpul magnetului permanent *4* creează un cuplu rezistent proporțional cu viteza de rotație:

$$M_r = k_2\omega.$$

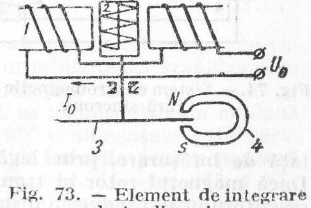


Fig. 73. — Element de integrare electrodinamic.

Din egalitatea:

$$M_m = M_r + M_f,$$

unde M_f este cuplul creat de forțele de frecare, se deduce:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \omega = \frac{k_1\Phi I_x}{k_2} - \frac{M_f}{k_2}$$

$$\alpha = \frac{k_1}{k_2}\Phi\int_0^t I_x\,dx - \frac{M_f}{k_2}t.$$

Pentru a se reduce eroarea se alege un electromotor cu M_f mic și k_2 mare.

H. Elemente pentru legături sincrone

48. **Generalităţi.** În automatică şi telemecanică este deseori necesar să se transmită la distanţă indicaţia unei deplasări unghiulare astfel încît în punctul de recepţie mişcarea să fie sincronă şi în fază cu aceea de la punctul iniţial. O astfel de legătură se numeşte sincronă şi se realizează cu ajutorul unui transmiţător care transformă mişcarea unghiulară într-o variaţie a unui parametru electric, o linie de legătură şi un receptor care transformă variaţia parametrului electric ales, într-o mişcare. Se vor descrie sistemele cele mai răspîndite de astfel de legături sincrone întrebuinţînd o alimentare în curent alternativ.

În instalaţiile de telemecanică care întrebuinţează între transmisie şi recepţie puţine linii de legătură, alegerea obiectului comandat se face cu ajutorul comutatoarelor, prin transmiterea de impulsuri pe liniile de legătură. În astfel de cazuri este necesar ca comutatorul de la transmisie să fie sincron şi în fază cu comutatorul de la recepţie, pentru a închide în acelaşi timp circuitele corespondente. Instalaţia de impuls comandă mişcarea distribuitorului de la transmisie şi trimite impulsuri pe linia de legătură. La recepţie, un releu de linie atrage sub controlul impulsurilor primite şi prin contactele sale comandă mişcarea comutatorului de recepţie. Ca rezultat se produce comutarea simultană în ambele părţi. Verificarea poziţiei în fază a acestor comutatoare se face prin scheme speciale, care execută acest control şi corecţiile necesare la terminarea unui grup de impulsuri. Descrierea acestui fel de legătură sincronă nu intră în cadrul acestui capitol.

49. **Sistem electromagnetic de legătură sincronă.** Se compune dintr-un transmiţător şi un receptor identice din punct de vedere constructiv (fig. 74) şi formate dintr-un inel din benzi de permaloi peste care se execută o înfăşurare uniform distribuită. Pe axa inelului, în interior este aşezat un magnet permanent. Punctele *1* şi *4* ale capetelor înfăşurării sînt legate la reţeaua generală de curent alternativ. Două din punctele înfăşurării, *2* şi *3*, care se găsesc la 120° de capetele înfăşurării sînt legate de la transmiţător la receptor prin linia de legătură. Dacă magnetul transmiţătorului şi al receptorului sînt în fază adică au aceeaşi poziţie faţă de înfăşurare, prin legăturile *2—2'* şi *3—3'* nu va circula nici un curent. Dacă magnetul rotor al transmiţătorului s-a rotit cu un unghi θ faţă de rotorul receptorului se produce o distribuţie diferită a cîmpului în transmiţător şi în receptor, o inegalitate a reluctanţelor şi în liniile de legătură apar curenţi de egalizare. În această situaţie asupra rotorului receptorului acţionează un cuplu a cărui valoare aproximativă este $M = K\theta$ şi care tinde să aducă acest rotor în poziţie sinfazică cu rotorul transmiţătorului.

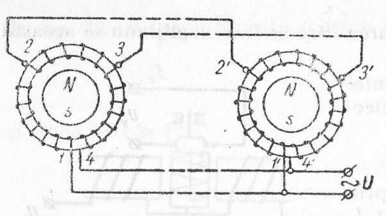


Fig. 74. — Sistem electromagnetic de legătură sincronă.

Din cauza simplităţii sale, acest sistem, cunoscut şi sub denumirea de *magnezin* este întrebuinţat destul de des, deşi i se preferă în ultimul timp selsinul.

50. **Sistem electromagnetic de legătură sincronă.** În fig. 75 se arată construcţia şi schema de principiu a unui astfel de sistem. Ţinînd seama de f.e.m. induse în bobinele de pe cadrul mobil al transmiţătorului şi al receptorului, valoarea curentului de egalizare cînd aceste cadre s-au rotit cu unghiurile α_1 şi α_2 este:

$$i = I_m (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2) \cos (\omega t - \varphi),$$

în care:

$$I_m = \frac{\omega W B_m S \cdot 10^{-8}}{(R^l + 2R)^2 + \omega^2 (L_l + 2L)^2}.$$

R_l, L_l şi R, L fiind rezistenţa şi inductanţa liniei, respectiv a unei bobine, iar $B_m S = \Phi_m$ fiind fluxul în bobinele cadrului cu suprafaţa S şi numărul de spire W.

Valoarea medie a cuplului este:

$$M_{med} = 4 \cdot 10^{-8} \Phi_m W I_m \sin \varphi \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2},$$

în care

$$\theta = \alpha_1 - \alpha_2 .$$

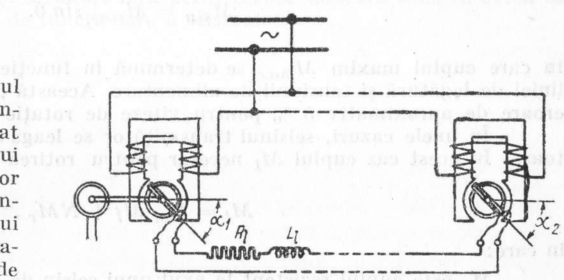


Fig. 75. — Sistem electrodinamic de legătură sincronă.

În transmiţător sensul acestui cuplu este contrar sensului cuplului mecanic aplicat care produce rotirea cadrului cu unghiul α_1. În receptor cuplul este dirijat în sens contrar şi provoacă rotirea cadrului cu unghiul α_2. Valoarea maximă a unghiului α este, de obicei, 30 – 60°. Unghiul θ care determină eroarea cu care funcţionează sistemul depinde de cuplul de sarcină M_s şi poate fi calculat din expresia:

$$M_s \approx 2 \cdot 10^{-8} \Phi_m W \cdot I_m \cdot \theta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}.$$

Mărimea eroarei θ depinde de oscilaţiile fluxului Φ_m şi ale frecvenţei, cum şi de variaţiile caracteristicilor liniei de legătură. Deseori se întrebuinţează stabilizatoare de tensiune pentru alimentarea transmiţătorului şi receptorului.

Pentru a se obţine unghiuri de rotaţie mai mari, se folosesc sisteme cu două bobine aşezate la 90° şi alimentate prin perii.

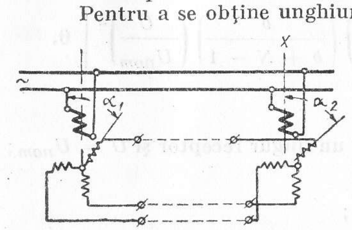


Fig. 76. — Schema unui selsin.

51. **Sistem de inducţie pentru legătură sincronă (selsin)** (v. vol. II, cap. III, § 37). În acest sistem (fig. 76) transmiţătorul şi receptorul, de obicei identice, sînt maşini de curent alternativ de tipul asincron. Fiecare are o înfăşurare primară monofazată legată la reţeaua de curent alternativ şi o înfăşurare secundară trifazată legată la linia de legătură. Se execută de obicei cu înfăşurarea monofazată pe rotor şi cu înfăşurarea trifazată pe stator. În unele tipuri de selsinuri se schimbă atît locul de aşezare al înfăşurărilor cît şi felul de conectare la reţeaua de alimentare.

Bobinajul primar monofazat (pe stator sau pe rotor) se aşază de obicei pe poli aparenţi pentru a obţine cele mai favorabile caracteristici ale cuplului în funcţie de unghiul de decalaj. Selsinuri cu înfăşurarea monofazată aşezată pe stator se

folosesc pentru mașini puternice întrebuințate în sistemele de urmărire, iar cu înfășurare monofazată pe rotor se folosesc pentru mașini de puteri mici întrebuințate la transmiterea la distanță a indicațiilor.

Dacă rotoarele transmițătorului și receptorului sînt în aceeași poziție față de stator, există un echilibru între f.e.m. produse în înfășurările secundare și nu circulă nici un curent în aceste înfășurări și în liniile de legătură. Dacă rotoarele se decalează unul față de altul cu un unghi $\theta = \alpha_1 - \alpha_2$, valorile f.e.m. în înfășurările secundare respective sînt diferite ca mărime și în linia de legătură apar curenți de egalizare. Acești curenți produc un cuplu care are tendința de a aduce rotoarele în aceeași poziție față de înfășurările statoarelor. Pentru selsinurile cu poli aparenți, acest cuplu de sincronizare M_{sin} are ca expresie aproximativă:

$$M_{sin} = M_{max} \sin \theta,$$

în care cuplul maxim M_{max} se determină în funcție de caracteristicile mașinilor, liniei de legătură și tensiunii de alimentare. Această expresie se poate utiliza cu o eroare de aproximativ 5 % pentru viteze de rotație de ordinul a 500 rot/min.

În unele cazuri, selsinul transmițător se leagă cu mai multe selsinuri receptoare. În acest caz cuplul M_t necesar pentru rotirea selsinului transmițător este:

$$M_t = K_m M_f + N M_r,$$

în care:

M_r este cuplul rezistent la axul unui selsin de execuție,
M_f — cuplul de frecare al periilor și lagărelor;
N — numărul selsinurilor receptoare;

$$K_m = a + bN, \text{ unde } a = 0{,}8 \ldots 1 \text{ și } b = 0{,}15 \ldots 0{,}4.$$

La întrebuințarea selsinului trebuie să se aibă în vedere variația momentului sincronizat din cauza variației liniei de legătură, a fenomenelor tranzitorii în înfășurări, a numărului de receptoare și a oscilației tensiunii de alimentare. Calculul momentului dinamic sincronizant al selsinului, pentru θ pînă la 60° poate fi făcut cu următoarea formulă:

$$M_{sin} = \left(\frac{\Delta M_{sin}}{\Delta\theta}\right)_{\theta=0} \left[(1 - a z_l)\left(1 - \frac{n}{3000}\right)\left(\frac{b}{b+N-1}\right)\left(\frac{U}{U_{nom}}\right)^2\right]\theta,$$

în care:

$\left(\frac{\Delta M_{sin}}{\Delta\theta}\right)_{\theta=0}$ este momentul static sincronizant cu un singur receptor și $U = U_{nom}$;
n — numărul de rotații pe minut;
N — numărul selsinurilor receptoare;
z_l — impedanța liniei;
U — tensiunea rețelei de alimentare;
θ — unghiul de neconcordanță;
a și b — coeficienți.

Eroarea maximă posibilă între valorile instantanee ale unghiurilor de rotație sînt standardizate în industria sovietică în 4 clase de precizie. În prima clasă selsinurile au o eroare de ± 0,75°, iar în clasa patra între ± 2,5 și ± 5°.

În unele selsinuri pentru transmitere de indicații, de fabricație germană tip R.F.T., alimentarea se face sub 110 V, 50 Hz (sau 500 Hz). Receptorul absoarbe 30 VA, produce un cuplu de 100–150 g·cm și eroarea indicațiilor este de ± 1°. Transmițătoarele absorb 60 VA pentru tipul care funcționează cu două receptoare și 110 VA pentru tipul care funcționează cu patru receptoare. Pentru transmițătorul cel mai puternic dimensiunile de gabarit sînt 109 × 89 × 163 mm și greutatea 3,2 kgf.

Instalația poate fi compusă și din două transmițătoare și un singur receptor (receptor diferențial) cu înfășurări trifazate pe stator și pe rotor. Aceste înfășurări se leagă prin linii de legătură la înfășurările trifazate ale celor două transmițătoare. Selsinul receptor indică în acest caz suma sau diferența rotațiilor transmise de cele două transmițătoare.

Se construiesc acum și selsinuri fără perii, ceeace înlătură această sursă de defecte și mărește siguranța de funcționare a selsinului.

ANEXĂ

SEMNE CONVENŢIONALE PENTRU APARATE DE CONECTARE (DUPĂ STAS 2877-51 ŞI 3812-53; REPRODUCERE CU CARACTER INFORMATIV)

I. Generalităţi

1. Semnele convenţionale ale aparatelor de conectare sînt pentru reprezentări unifilare sau multifilare. La cele unifilare, conductorii de polaritate sau faze diferite aparţinînd aceluiaşi circuit, sînt reprezentaţi printr-o singură linie. Numărul conductorilor din acel circuit se indică printr-un număr corespunzător de linii scurte care întretaie oblic linia circuitului. Dacă acest număr este mai mare de patru, atunci se trasează o singură liniuţă oblică, lîngă care se scrie numărul conductorilor respectivi.

La semnele multifilare, fiecare conductor de polaritate sau fază diferită este reprezentat prin cîte o linie.

2. În cazuri speciale, semnele convenţionale pot fi desenate şi în alte poziţii decît cele indicate.

3. Conductele şi conductorii de importanţă, tensiune şi polaritate diferită, se pot deosebi prin linii de grosime diferită.

4. Legăturile dintre elementele circuitelor vor fi reprezentate prin linii orizontale şi verticale; întrebuinţarea liniilor oblice va fi evitată pe cît posibil.

5. O legătură nu trebuie să-şi schimbe direcţia dintr-un punct care se încrucişează cu altă legătură şi nici să treacă printr-un punct de legătură al altor circuite.

6. În general bornele nu se reprezintă. La nevoie se poate folosi semnul de la Nr. 38 din STAS 1590-50. Numerotarea bornelor, cînd este necesară, se face cu cifre arabe.

7. Elementele de contact mobile se reprezintă astfel încît la mişcarea de la dreapta la stînga (în figurile din tabele) întreruptoarele şi separatoarele să închidă circuitul, iar contactoarele şi ruptoarele să treacă din poziţia de repaus în poziţia de lucru.

8. Aparatele de conectare principale se reprezintă în poziţia de repaus, iar aparatele auxiliare în poziţia care corespunde poziţiei de repaus a celor principale.

II. Semne convenționale

A. Aparate de conectare

9. Element.

Tabela 1

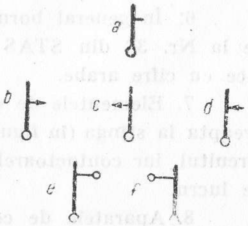
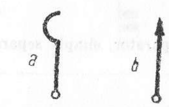
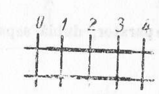
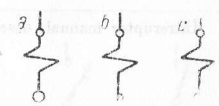
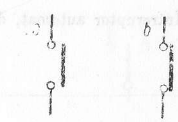
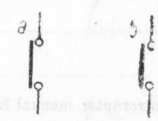
Nr. crt.	Denumire	Semn convențional
1	Bornă sau contact în general	
2	Contact fix	●
3	Contact articulat *Observație:* Se va utiliza dacă este cazul	
4	Bornă sau contact amovibil	○
5	Contact de separator: *a)* partea fixă (furca), *b)* partea mobilă (cuțitul)	
6	Element de conectare mobil, în general	
7	Element de conectare mobil cu contact prelungit	
8	Element de conectare mobil acționat automat: *a)* în general, *b)* la supraintensitate, *c)* la scăderea intensității, *d)* la curent invers, *e)* la supratensiune, *f)* la scăderea tensiunii.	

Tabela 1 (continuare)

Nr. crt.	Denumirea	Semn convențional
9	Element de conectare mobil cu funcționare temporizată în mișcarea sa: *a)* de la dreapta la stînga *b)* de la stînga la dreapta *c)* în ambele sensuri	
10	Element de conectare mobil pentru reglaj: *a)* în trepte, *b)* continuu	
11	Contacte pentru comutatoare sau controlere cu mai multe poziții	
12	Bobină de suflare a arcului electric, în serie cu contactul fix: *a)* la întreruptor, *b)* la contactor, *c)* la ruptor	
13	Contact auxiliar deschis în starea de repaus a aparatului: *a)* deschis, *b)* închis	
14	Contact auxiliar închis în starea de repaus a aparatului: *a)* închis, *b)* deschis	

10. Aparate de conectare în general.

Tabela 2

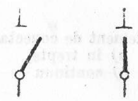
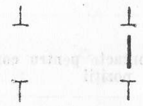
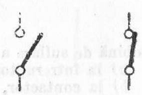
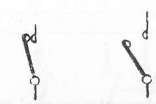
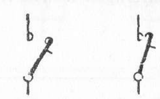
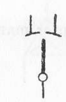
Nr. crt.	Denumirea	Semn convențional
15	Întreruptor	
16	Separator, simplă separare, cuțit articulat, deschis și închis	
17	Separator, dublă separare, cuțit amovibil, deschis și închis	
18	Întreruptor manual, deschis și închis	
19	Întreruptor automat, deschis și închis	
20	Întreruptor automat de fine de cursă, deschis și închis	
21	Întreruptor manual în ulei	

Tabela 2 (continuare)

Nr. crt.	Denumirea	Semn convențional
22	Contactor deschis și închis	
23	Contactor, semn special pentru scheme desvoltate	
24	Ruptor, închis și deschis	
25	Ruptor, semn special pentru scheme desvoltate	
26	Contactor cu întrerupere automată, deschis și închis	
27	Comutator rotativ manual, cu două poziții, cu întrerupere a circuitului la trecerea de la o poziție la alta	
28	Comutator rotativ manual, cu două poziții, fără întreruperea circuitului la trecerea de la o poziție la alta	
29	Comutator-separator rotativ, cu două poziții	

11. Întreruptoare, separatoare, comutatoare.

Tabela 3

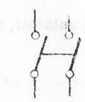
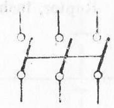
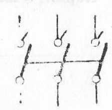
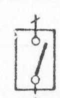
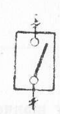
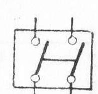
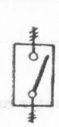
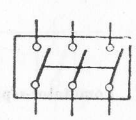
Nr. crt.	Denumire	Semn convențional	
		unifilar	multifilar
30	Întreruptor manual monopolar, în aer		
31	Întreruptor manual bipolar, în aer		
32	Întreruptor manual tripolar, în aer		
33	Întreruptor manual tripolar, în aer, cu coarne		
34	Întreruptor manual în ulei, monopolar		
35	Întreruptor manual în ulei, bipolar		
36	Întreruptor manual în ulei, tripolar		

Tabela 3 (continuare)

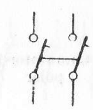
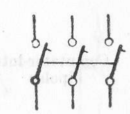
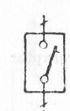
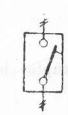
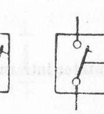
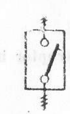
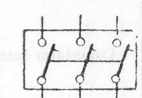
Nr. crt.	Denumire	Semn convențional	
		unifilar	multifilar
37	Întreruptor automat în aer, monopolar		
38	Întreruptor automat în aer, bipolar		
39	Întreruptor automat în aer, tripolar		
40	Întreruptor automat în ulei monopolar		
41	Întreruptor automat în ulei, bipolar		
42	Întreruptor automat în ulei, tripolar		
43	Întreruptor sau comutator, stea-triunghi		

Tabela 3 (continuare)

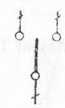
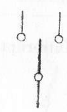
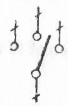
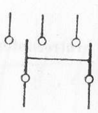
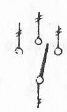
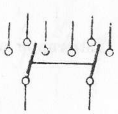
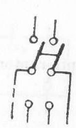
Nr. crt.	Denumirea	Semn convențional unifilar	Semn convențional multifilar
44	Comutator-întreruptor rotativ manual, cu două poziții, monopolar		
45	Comutator-întreruptor, rotativ manual, cu trei poziții, monopolar		
46	Comutator-întreruptor rotativ manual, cu două poziții, bipolar		
47	Comutator-întreruptor rotativ manual, cu trei poziții, bipolar		
48	Comutator-întreruptor basculant manual, monopolar		
49	Comutator-întreruptor basculant manual, bipolar		
50	Comutator rotativ manual, cu două poziții, monopolar, fără întreruperea circuitului la trecerea de la o poziție la alta		

Tabela 3 (continuare)

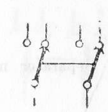
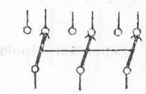
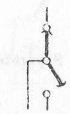
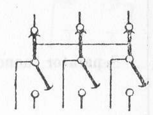
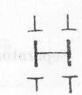
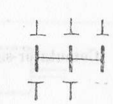
Nr. crt.	Denumire	Semn convențional unifilar	Semn convențional multifilar
51	Comutator rotativ manual,cu două poziții, bipolar, fără întreruperea circuitului la trecerea de la o poziție la alta		
52	Comutator rotativ manual, cu două poziții, tripolar, fără întreruperea circuitului la trecerea de la o poziție la alta		
53	Comutator basculant manual, cu două poziții, monopolar, fără întreruperea circuitului la trecerea de la o poziție la alta		
54	Comutator basculant manual, cu două poziții, tripolar, fără întreruperea circuitului la trecerea de la o poziție la alta		
55	Separator monopolar, dublă separare, cuțit amovibil		
56	Separator bipolar, dublă separare, cuțit amovibil		
57	Separator tripolar, dublă separare, cuțit amovibil		

Tabela 3 (continuare)

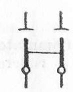
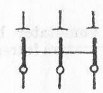
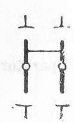
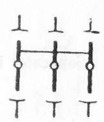
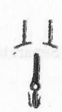
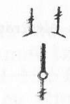
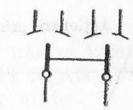
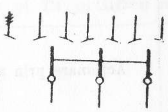
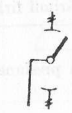
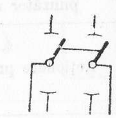
Nr. crt.	Denumire	Semn convențional unifilar	Semn convențional multifilar
58	Separator monopolar, simplă separare, cuțit articulat		
59	Separator bipolar, simplă separare, cuțit articulat		
60	Separator tripolar, simplă separare, cuțit articulat		
61	Separator monopolar rotativ, dublă separare		
62	Separator bipolar rotativ, dublă separare		
63	Separator tripolar rotativ, dublă separare		
64	Comutator-separator rotativ, cu două poziții		

Tabela 3 (continuare)

Nr. crt.	Denumire	Semn convențional unifilar	Semn convențional multifilar
65	Comutator-separator rotativ, bipolar cu două poziții		
66	Comutator-separator rotativ, tripolar, cu două poziții		
67	Comutator separator basculant, monopolar		
68	Comutator-separator basculant, bipolar		

B. Acționarea aparatelor de conectare

12. Semnele convenționale principale pentru reprezentarea în schemele electrice a diferitelor feluri de acționare a aparatelor de conectare.

Tabela 1

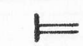
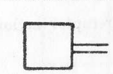
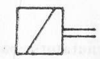
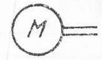
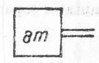
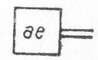
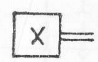
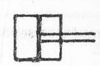
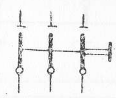
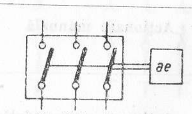
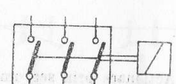
Nr. crt.	Denumire	Semn convențional
69	Acționare manuală	
70	Acționare prin pedală	
71	Acționare prin servomotor în general	

Tabela 1 (continuare)

Nr. crt.	Denumire	Semn convențional
72	Acționare prin electromagnet	
73	Acționare prin motor electric	
74	Acționare prin arc cu armare manuală	
75	Acționare prin arc cu armare electrică	
76	Acționare în funcție de o mărime fizică (de exemplu: temperatură, debit, timp etc.). *Observație:* Litera X se va înlocui cu simbolul literal corespunzător mărimii fizice respective, conform STAS 895-50.	
77	Acționare prin presiune de lichid sau gaze	

13. Exemple de utilizare a semnelor convenționale principale ale acționărilor

Tabela 2

Nr. crt.	Denumire	Semn convențional
78	Separator acționat manual	
79	Întreruptor acționat prin arc cu armare electrică	
80	Întreruptor acționat prin electromagnet	

SEMNE CONVENȚIONALE PENTRU RELEE ELECTRICE (DUPĂ STAS 3527-52; REPRODUCERE CU CARACTER INFORMATIV)

I. Generalități

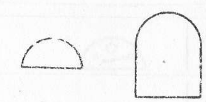
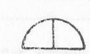
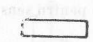
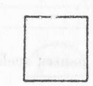
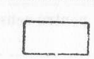
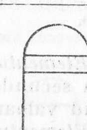
1. În general bornele nu se reprezintă. Dacă este necesar să se reprezinte bornele, se recomandă ca acestea să fie așezate numai la partea inferioară a semnului releului; pentru borne se poate folosi semnul Nr. 38 STAS 1590-50. Numerotarea bornelor, cînd este necesară, se face cu cifre arabe.

2. În general, releele se reprezintă prin semnele 25 . . . 28. Dacă este necesar să reiasă caracteristicile releelor, se folosesc cîte sînt necesare și în ordinea arătată la semnul 6, semnele 1 . . . 5 (vezi exemplele).

II. Semne convenționale

3. Elemente de relee.

Tabela 1

Nr. crt.	Denumire	Semn convențional
1	Element de lucru pentru relee în general *Observație:* Înălțimea simbolului din dreapta rezultă din numărul de contacte necesare, figurate	
2	Element de lucru pentru declanșator	
3	Element de direcție *Observație:* Raportul laturilor 1/4	
4	Element de timp *Observație:* Raportul laturilor 1/1	
5	Element de pornire *Observație:* Raportul laturilor 1/2	
6	Exemplu de compunere a elementelor releelor pentru reprezentarea unui releu avînd: element de pornire; element de timp; element de direcție; element de lucru;	

4. Caracterizarea elementelor releelor

α) Elementul de pornire.

Tabela 2

Nr. crt.	Modul în care se provoacă pornirea releului	Simbol
7	Mărimea x scade sub o anumită valoare	$\times <$
8	Mărimea x depăşeşte o anumită valoare	$\times >$
9	Mărimea x are o valoare în afara a două limite fixe	$\times \gtrless$
10	Mărimea x are o valoare cuprinsă între două limite fixe	$> \times <$

β) Elementul de direcţie.

Tabela 3

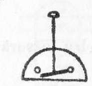
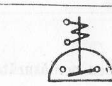
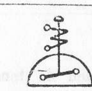
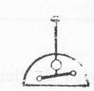
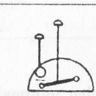
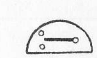
Nr. crt.	Releul poate lucra:	Semn
11	— pentru sensul energiei către bare	$\mid \leftarrow$
12	— pentru sensul energiei de la bare	$\rightarrow$
13	— pentru sensul energiei de la şi către bare	$\leftrightarrow$
14	— pentru un anumit sens al mărimii x măsurate de releu	$x \mid \rightarrow$
15	— pentru acelaşi sens a două mărimi x_1 şi x_2 măsurate de releu	$x_1 \rightarrow$ $x_2 \rightarrow$
16	— pentru sensuri contrare a două mărimi x_1 şi x_2 măsurate de releu	$x_1 \rightarrow$ $x_2 \leftarrow$

Observaţie: Mărimea x poate fi o tensiune, un curent, o impedanţă, etc. simbolizată conform STAS 895-50.

γ) *Elementul de timp.* Se scrie în interiorul semnului un număr reprezentînd în secunde timpul scurs între provocarea pornirii releului şi comanda de lucru. Cînd valoarea timpului nu este indicată, se va folosi simbolul t.

δ) *Elementul de lucru.* Se figurează în interiorul semnului, dacă este nevoie, semnele 17···24, cum şi alte semne reprezentînd contactele socotite necesare.

Tabela 4

Nr. crt.	Denumire	Semn convenţional
17	Element de lucru cu un contact de închidere	
18	Element de lucru cu un contact de închidere şi cu dispozitiv de revenire mecanic	
19	Element de lucru cu un contact de închidere şi cu dispozitiv de revenire electric	
20	Element de lucru cu un contact de închidere şi cu dispozitiv de revenire mecanic şi electric	
21	Element de lucru cu un contact de închidere şi disc de semnalizare	
22	Element de lucru cu un contact de închidere şi disc semnalizator cu dispozitiv de revenire comun pentru întreruptor şi discul semnalizator	
23	Element de lucru cu un contact de deschidere şi disc semnalizator, cu dispozitiv de revenire separat pentru întreruptor şi pentru discul semnalizator	
24	Element de lucru cu un comutator cu 3 poziţii	

5. Exemple de reprezentare a releelor.

Tabela 5

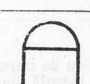
Nr. crt.	Denumire	Semn convenţional
25	Releu măsurător şi releu în general	

Tabela 5 (continuare)

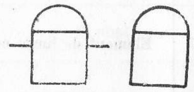
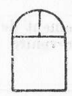
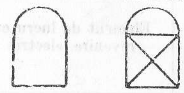
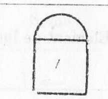
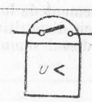
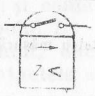
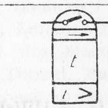
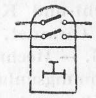
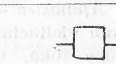
Nr. crt.	Denumire	Semn convențional
26	Releu primar	
27	Releu măsurător și declanșator, în general	
28	Releu nemăsurător și releu auxiliar, în general	
29	Releu de tensiune	
30	Releu de curent	
31	Releu de timp	
32	Releu minimal de tensiune cu contact de închidere	
33	Releu maximal de curent, cu contact de închidere	
34	Releu termic, cu contact de lucru	
35	Releu de impedanță cu contact de lucru, lucrînd cînd energia circulă de la bare	

Tabela 5 (continuare)

Nr. crt.	Denumire	Semn convențional
36	Releu maximal de curent, temporizat, cu contact de lucru, lucrînd cînd energia circulă de la bare	
37	Releu de gaze, cu contact de avertizare și de lucru — semn special —	
38	Releu de semnalizare (clapetă), montat în serie — semn special —	

BIBLIOGRAFIE

1. A. E. G. — Hilfsbuch für elektrische Licht-und Kraftanlagen, 5. Auflage, W. Girardet, Essen 1950.
2. A.E.G. — Rechnungsgrössen für Hochspannungsanlagen, 3. Auflage Berlin, 1950.
3. *V. V. Afanasiev* — Konstrukţia vîsokovoltnîh vîcliuciaiuşcih aparatov peremenogo toka, Gosenergoizdat, Moskva-Leningrad, 1951.
4. *V. V. Afanasiev* — Construcţia întreruptorilor de înaltă tensiune (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1953.
5. *S. K. Andrievski* şi *M. N. Şapira*—Repararea maşinilor electrice şi a aparatajului de pornire şi reglare (traducere din limba rusă) Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1954.
6. *A. I. Apraxin, V. V. Afanasiev, S. A. Crasnogorodiki* — Separatoare (traducere litografiată din limba rusă), Editura Eneregetică de Stat, Bucureşti, 1953.
7. *I. I. Anosov* —Cuplaje electromagnetice (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1953.
8. *A. Avaev* — Echipamentul electric al întreprinderilor din industria uşoară (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1955.
9. *D. G. Bedov* şi *V. A. Vinogradov* — Tehnologia fabricării în masă a condensatorului din mică şi hîrtie (traducere litografiată din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti.
10. *M. A. Babicov* — Aparate electrice (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1953.
11. *L. N. Baptidanov, V. I. Tarasov* — Elektrooborudovanie elektriceskih stanţii i podstanţii, t. II, Gosenergoizdat, Moskva-Leningrad, 1953. Echipamentul electric al centralelor şi staţiilor electrice (traducere din limba rusă) vol. I, Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1955.
12. *V. A. Bulgakov* — Elektriceskaia apparatura upravlenia, Gosenergoizdat, Moskva-Leningrad, 1947.
13. *O. B. Bron* — Elektriceskaia duga v apparatah upravlenia. Gosenergoizdat Moskva-Leningrad 1954.
14. *H. Blaschke* — Motorschutz, Verlag Technik, 1954.
15. *H. Brandemburger* — Schaltung und Steuerung elektrischer Schütze Röti, Verbaverlag, 1952.
15. *A. I. Builov* — Principiile de construcţie ale aparatelor electrice (traducere litografiată din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1954.
16. *H. W. Baxter* — Electric Fuses, Ed. Edward Arnold and Co, London, 1950.
17. *I. V. Bulchevici* şi alţii — Partea electrică a centralelor şi staţiilor electrice (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, 1953.
18. *H. Carslaw, I. Iaeger* — Conduction of heat in solids, University Press, Oxford, 1948.
19. *M. G. Cilikin* — Obşcii kurs elektroprivoda, Moskva-Leningrad 1951. Curs General de acţionări electrice (traducere litografiată din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti 1954.
20. *Ciganek, Ladislav* — Electricke pristroje spinaci ochranne a ridici, Puseobeni, provedani, navrhovani. Statnîi Nakladatelstvi Technicke Literatury, Praga, 1953.
21. *G. Collet* — Tehnologie de l'appareillage électrique, Ed. Chiron, Paris, 1954.
22. *Curchod* § *Vallard* — Memento d'Electrotehnique, Ed. Dunod, Paris, 1950.
23. *G. Doetsch* — Handbuch der Laplace-Transformation, Springer, Berlin, 1949.

24. *G. Doetsch* — Theorie und Anwendung der Laplace-Transformation, Springer, Berlin, 1937.
25. *B. I. Domanski* — Vvedenie v avtomatiku i telemehaniku Gosenergoizdat, 1950.
26. *James Henry Duval* and *Markle Lewis Edwin* — Controllers for Electric Motors. New York, Mc. Graw Hill Book Go., 1952.
27. *A. M. Fedoseev* — Protecţia pin relee a sistemelor electrice (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat Bucureşti, 1955.
28. *H. Gröber, S. Erck* — Die Grundgesetze der Wärmeübertragung, Springer, Berlin, 1933.
29. *A. T. Golovan* şi alţii — îndreptar electrotehnic (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1955.
30. *V. K. Goreleicenko, I. Licikovski, A. Reingoldt* — Elektriceskoe oborudovanie sudov predpriatii recingo transporta. Recizdat, Moskva-Leningrad 1950.
31. *I. I. Gumin* — Circuitele secundare ale centralelor electrice (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat Bucureşti, 1955.
32. *I. G. Goldreer* — Stabilizator de tensiune (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1954.
33. *A. A. Glazunov* şi alţii — Partea electrică a centralelor şi staţiilor electrice (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1954.
34. *E. Ghirardi* — Téchnique de l'automatisme, Ed. Dunod, Paris, 1948
35. *W. Howald* — Elektrische Schaltanlagen und Verteilnetze, Füssli, Zürich, 1947.
36. *G. Hofmeister* — Elektrotechnische Widerstände, Fachbuchverlag, Leipzig, 1952.
37. *V. L. Inosov* i *L. V. Tukernik* — Kompaundirovanie i elektromagnitnîi korektor napreajenia sinhronîh generatorov, Gosenergoizdat, Moskva-Leningrad, 1954.
38. *A. G. Ivahnenko* — Elektroavtomatika. Elementî teorii elektriceskih sistem regulirovania, Gostehizdat, Kiev, 1954.
39. *A. G. Ivahnenko* — Elektroavtomatika, obratnie metodî i issledovania kombinirovanîh sistem avtomaticeskogo regulirovania, Gostehizdat, Kiev, 1954.
40. *E. Jahnke F. Emde* — Funktionen Tafeln, Teubner, Leipzig, 1948.
41. *A. Jung* — Calcul des électroaimants industriels, Ed. Dunod, Paris, 1954.
42. *G. M. Jdanov* — Telemăsurarea partea I (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1954.
43. *Erich Iasse* — Die Elektromagnete, Berlin, Springer Verlag, 1930.
44. *H. Kyser* — Die elektrische Kraftübertragung, Band III b Springer, Berlin, 1950.
45. *B. Klitsche* — Hochspannungsgeräte, V. Technik, Berlin, 1952.
46 *Knoulton E. Archer* — Standard Handbook for Electrical Engineers Mc Graw-Hill Book Company, inc. New-York Toronto, London, 1949.
47. *W. Kussy* — Elektrische Niederspannungsschaltgeräte, Verlag Cram, Berlin, 1950.
48. *A. V. Likov* — Teoria Teploprovodnosti, Gostehizdat Moskva, Leningrad, 1952.
49. *H. Lapple* — Electric Fuses. Butterworths Scientific Publications, London.
50. *S. Langlois* — Appareilage des machines et des reseaux, vol. I şi II, Ed. Leon Eyrolles, Paris, 1946.
51. *B. C. Mazel* — Redresori şi stabilizatori de tensiune (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1954.
52. *M. A. Miheev* — Bazele transmiterii căldurii (traducere litografiată din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1953.
53. *V. V. Mihailov* — Calculul şi construcţia aparatajului de înaltă tensiune (traducere litografiată din limba rusă), Editura Energetică de Stat Bucureşti, 1952.
54. *D. P. Morozov* — Principiile de bază ale dispozitivelor electrice de acţionare (traducere din limba rusă) Editura Tehnică, Bucureşti, 1952.
55. *M. V. Meerov* — Bazele reglării automate a maşinilor electrice (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat., Bucureşti, 1954.

56. *W. Michlak* — Regulacja napiecia w siecisch electrycznych. P.W.T. Varşovia, 1954.

57. *Mauduit* — Instalations électriques à haute et basse tension ed. II, Dunod, Paris, 1949, 1950.

58. *A. I. Moskvitin* — Maşini electrice cu mişcare rectilinie alternativă (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat.

59. *M. A. Miheev* — Bazele transmisiei căldurii (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1953.

60. *V. K. Polter L. P. Smolnikov* — Echipamentul electric al principalelor ateliere din industria metalurgică (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1955.

61. *B. van der Pol, H. Bremmer* — Operational calculus based on the bilaterale Laplace - Transformation, University Rus. Cambridge, 1950.

62. *V. V. Petrov* şi *B. A. Piontovski* — Stabilizatori de tensiune şi curent (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1955.

63. *I. M. Rîjik I. C. Gradstein* — Tabliţi integralov, sumî, readov i proizve denii, Gostehteorizdat, Moskva-Leningrad, 1951.

64. *J. Rosslym* — Electric Relays, Ed. G. Newnes LTD., London, 1942.

65. *A. Roth* — Hochspannungstechnik, Springer, Wien, 1951.

66. *Roters* — Elektromagnitnîe mehanizmî (perevod s angliskogo), Gosenergoizdat, Moskva-Leningrad, 1949.

67. *F. A. Stupeli* — Relee de protecţie şi de automatizare (traducere litografiată din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1952.

68. *I. I. Soloviev* — Automatizarea sistemelor energetice (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1954.

69. *B. S. Sotskov* — Organele dispozitivelor automate şi telemecanice (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1953.

70. *B. S. Sotskov* — Osnovî rasciota i proektirovania elementov avtomaticeskih i telemehaniceskih ustroistv, Gosenergoizdat, 1953.

71. *P. V. Saharov* — Tehnologia construcţiei aparatelor electrice (traducere litografiată din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1953.

72. *J. Saint Germanin* — Les Appareils électriques connecteurs et déconnecteurs, Gauthier Willars, Paris, 1949.

73. *V. M. Sleadin* — Elementi avtomatiki i telemehaniki, Oborongiz Moskva 1952.

74. *Smith Sinclair Edward* — Automatic Control Engineering, New York, Mc. Graw Hill Book Co., 1944.

75. *F. N. Scliarskii* — Fiziko-Mehaniceskie osnovî elektriceskogo rudnicinogo podiema, Ugletehizdat, Moskva-Leningrad, 1952.

76. *A. M. Turicin* — Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice vol. I — II, (traducere din limba rusă). Editura Energetică de Stat, Bucureşti 1954.

77. *P. G. Tereza* — Staţiile de încercare ale aparatajului de joasă tensiune (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1953.

78. *A. A. Vasiliev* — Bateriile de acumulatori în sistemele energetice (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1953.

79. *S. N. Veşenevski* — Rasciot harakteristik i soprotivlenii dlia elektrodvigatelei, Gosenergoizdat, Moskva - Leningrad, 1954.

80. *A. I. Vorobiev* şi *O. G. Caţnelson* — Termobimetalul şi aplicaţiile lui (traducere din limba rusă) Editura Energetică de Stat, Bucureşti.

81. *A. S. Zaimovski V. V. Usov* — Metale şi aliaje electrotehnice. Materiale pentru magneţi, conductori, rezistenţe şi contacte electrice (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1954.

82. *K. W. Wagner* — Operatorenrechnung, Barth, Leipzig, 1940.

83. *A. S. Zaimovski* şi *V. V. Usov* — Metale şi aliaje electrotehnice (traducere din limba rusă), Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1954.

ERATĂ

Pag.	Rînd	În loc de:	Se va citi:	Din vina:
90	5 s.	w	w^2	Tipografiei
90	14 s.	$(\varphi_2 - \varphi_1)$	$\sin(\varphi_2 - \varphi_1)$	Editurii
98	18 s.	$\approx 2\frac{(B_\delta S)^2}{5\,000}$	$\approx 2\left(\frac{B_\delta}{5\,000}\right)^2 S$	Editurii
99, 106, 108, 110, 112. În expresiile forţei (F)		$\Lambda_\delta,\ \delta,\ \Phi_\delta,\ B_\delta$	$\Lambda_\delta^2,\ \delta^2,\ \Phi_\delta^2,\ B_\delta^2$	Editurii
116	16 s.	$F_M=\mu_0\left(\frac{2U}{4{,}44\,fw}\right)^2\left(\frac{S}{S+2l\,\Lambda_u\delta}\right)^2$	$F_M=\mu_0\left(\frac{U}{4{,}44\,fw}\right)^2\frac{S}{(\mu_0 S+2l\,\Lambda_u\delta)^2}$	Editurii
116	8 j.	$F_M=\mu_0\left(\frac{2U}{4{,}44\,fw}\right)^2\frac{S}{\frac{S+2l\,\Lambda_u\delta}{3}}$	$F_M=\mu_0\left(\frac{U}{4{,}44\,fw}\right)^2\frac{S}{\left(\mu_0 S+\frac{2l\Lambda_u\delta}{3}\right)^2}$	Editurii
118	16 s.	$=\frac{U}{4\pi}$	$=\frac{U}{4\pi f}$	Tipografiei
126	1 j.	$\frac{R}{r}$	$\frac{r_e}{r}$	Editurii
168	formula (22.5)	$=G\left(\frac{60\,v}{\pi n_2}\right)^2=$	$=G_l\left(\frac{60\,v}{\pi n_2}\right)^2 n_2^2=$	Editurii
196	7 s.	$=\frac{U_2}{\sqrt{3}\,I}\,\frac{M_n}{}\,\frac{n_s-n_x}{M_x}=$	$=\frac{U_2}{\sqrt{3}\,I_2}\,\frac{M_n}{n_s}\,\frac{n_s-n_x}{M_x}=$	Tipografiei
605	3 s.	$\Delta I = A^x$	$\Delta I = AE^x$	Editurii

c. 1526 — Man. Ing. Electr. — Vol. IV.